

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проектирование релейной защиты автотрансформатора 500/220/10 кВ подстанции «Томская» Томской энергосистемы

УДК 621.316.925.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З – 5А5А1	Кадиралиев Фахриддин Комилжон угли		

Руководитель ВКР/ консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Андреев М.В	к.т.н		
Ассистент	Разживин И.А	к.т.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина В.А	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова О.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		

Томск – 2020 г.

Планируемые результаты обучения по ООП «Электроэнергетика»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Универсальные компетенции</i>		
P1	<i>Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.</i>	Требования ФГОС (ОК-1, 3; ОПК-1, 2), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , работодателей
P2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.</i>	Требования ФГОС (ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , работодателей
P3	<i>Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.</i>	Требования ФГОС (ОК-2, 3; ОПК-1; ПК-1, 2, 3), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , работодателей
P4	<i>Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.</i>	Требования ФГОС (ОК-3; ОПК-1, 4), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , работодателей
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности, связанной с автоматизированными системами диспетчерского управления в электроэнергетике.</i>	Требования ФГОС (ОПК-4; ПК- 4-6) ¹ , Критерий 5 АИОР (п.1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , работодателей
P6	<i>Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа при проектировании, эксплуатации и обслуживании автоматизированных систем диспетчерского управления электроэнергетических систем с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний,</i>	Требования ФГОС (ПК-1, 7,8). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов

¹ Указаны коды компетенций по ФГОС (направление 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника), утвержденному Приказом Министерства образования и науки РФ № 1500 от 21.11.2014 г.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.	<i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>
P7	Выполнять инновационные <i>инженерные проекты</i> по разработке аппаратных и программных средств автоматизированных систем диспетчерского управления электроэнергетических систем с использованием современных методов проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных систем.	Требования ФГОС (ПК-2, 9, 10, 11). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>
P8	Проводить инновационные <i>инженерные исследования</i> в области автоматизированных систем управления электроэнергетических систем, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.	Требования ФГОС (ПК-3, 13, 14, 15, 24-26). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P9	Проводить <i>технико-экономическое обоснование</i> проектных решений; осуществлять профессиональную деятельность руководствуясь требованиями стандартов и рынка; разрабатывать планы и программы организации профессиональной деятельности на предприятии; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.	Требования ФГОС (ПК-11, 12, 13, 16-20, 24, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>
P10	Проводить <i>монтажные, регулировочные, испытательные</i> , наладочные работы оборудования и программного обеспечения по профилю профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-22, 23, 25, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>
P11	<i>Осваивать новое оборудование и программное обеспечение в сфере автоматизации диспетчерского управления</i> ; проверять техническое состояние и остаточный ресурс эксплуатируемых программно-технических комплексов и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.	Требования ФГОС (ПК-27, 28), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>
P12	Разрабатывать рабочую <i>проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять <i>оперативную документацию</i> , предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.	Требования ФГОС (ПК-29, 30), Критерий 5 АИОР (п. 1.3, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ «__» _____ 2020 г. В.В. Шестакова

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
З – 5А5А1	Кадиралиев Фахриддин Комилжон угли

Тема работы:

Проектирование релейной защиты автотрансформатора 500/220/10 кВ подстанции «Томская» Томской энергосистемы	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	25.05.2020 №146 – 25/об

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. Д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. Д.).</i>	Объект проектирования: релейная защита автотрансформатора 500/220/10 кВ ПС Томская Томской энергосистемы.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Анализ видов релейной защиты: классификация, типовые схемы, сравнительный анализ, проектирование релейной защиты; подбор оборудования и элементов; разработка раздела финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения; разработка раздела социальной ответственности; заключение по работе.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация и приложение
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	

(с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Немцова О.А.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Маланина В.А

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	12.02.20
---	----------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Андреев М.В	к.т.н., доцент		12.02.20
Ассистент ОЭЭ	Разживин И.А	к.т.н.		12.02.20

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З – 5А5А1	Кадиралиев Фахриддин Комилжон угли		12.02.20

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 92 с., 8 рис., 33 таблиц, 9 источников, 1 прил.

Ключевые слова: проектирование, релейная защита, энергосистема, автотрансформатор, электрооборудование.

Объектом исследования является релейная защита автотрансформатора 500/220/10 кВ подстанции «Томская» Томской энергосистемы.

Цель работы - проектирование релейной защиты автотрансформатора 500/220/10 кВ подстанции «Томская» Томской энергосистемы.

В процессе работы произведен литературный обзор и выполнен сравнительный анализ различных видов энергетических систем, проведен расчет параметров релейной защиты.

В результате работы выявлены основные преимущества и недостатки существующих видов релейной защиты, представлены характеристики релейной защиты. Выполнены расчеты, на основе которых осуществлен подбор необходимого оборудования.

Область применения: применяется для защиты и автоматического отключения поврежденного электрооборудования.

Оглавление

Введение.....	10
1. Анализ исходных данных и принятие предварительных проектных решений	10
1.1 Характеристика защищаемого объекта	10
1.2 Выбор и обоснование устанавливаемых защит	12
1.3 Выбор аппаратной реализации РЗА	13
1.4 Выбор устройств защиты	14
1.5 Выбор измерительных трансформаторов.....	15
1.5.1 Выбор трансформатора тока.....	15
1.5.2 Выбор трансформатора напряжения.....	18
2. Расчет параметров релейной защиты.....	19
2.1 Продольная дифференциальная токовая защита	19
2.1.1 Ток начала торможения.....	23
2.1.2 Относительный начальный ток срабатывания.....	23
2.1.3 Коэффициент торможения	24
2.1.4 Ток торможения блокировки	25
2.1.5 Ток срабатывания дифференциальной отсечки	26
2.1.6 Уровень блокировки по второй гармонике	27
2.1.7 Проверка чувствительности ДЗТ.....	27
2.2 Расчет максимальной токовой защиты с пуском по напряжению.....	30
2.2.1 Расчет параметра срабатывания максимального ИО тока.....	30
2.2.2 Расчет параметра срабатывания минимального ИО напряжения.....	32
2.2.3 Расчет параметра срабатывания измерительного органа напряжения обратной последовательности	33
2.3 Токовая направленная защита нулевой последовательности.....	36

2.3.1 Расчет установок ТНЗНП стороны среднего напряжения автотрансформатора	36
2.3.1.1 Проверка чувствительности ступеней защиты АТ для СН	42
2.3.2 Расчет уставок ТНЗНП стороны высшего напряжения автотрансформатора.....	43
2.3.2.1 Проверка чувствительности ступеней защиты АТ для ВН	46
2.4 Защита от перегрузки	48
2.5 Газовая защита.....	49
2.6 Функция пуска автоматики пожаротушения	50
3. Финансовый менеджмент и ресурсоэффективность	51
3.1.Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.	53
3.2.Анализ конкурентных технических решений	53
3.3.SWOT-анализ.....	57
3.4.Планирование научно-исследовательских работ	59
3.4.2.Структура работ в рамках научного исследования	60
3.4.3.Разработка графика проведения проектирования	61
3.5.Бюджет исследовательской работы	64
3.5.1.Расчет амортизации	64
3.5.2.Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов).....	65
3.5.3.Специальное оборудование для исследовательских (экспериментальных) работ	66
3.5.4.Основная заработная плата	67
3.5.5.Дополнительная заработная плата	68

3.5.6.Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	69
3.5.7.Накладные расходы.....	69
3.6.Определение ресурсоэффективности исследования	70
3.6.1.Интегральный показатель финансовой эффективности	70
3.6.2.Интегральный показатель ресурсоэффективности.....	71
3.6.3.Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки.....	72
4.Социальная ответственность	74
4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	77
4.1.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства	77
4.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	78
4.2. Производственная безопасность	79
4.3. Экологическая безопасность.....	85
4.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	87
Заключение	89
Список использованных источников	91

Введение

Силовые трансформаторы являются одними из самых важнейших электрооборудований на подстанции. Выход из строя данного оборудования влечет за собой большие экономические и технические потери, а также приводит к отсутствию электроснабжения у потребителей. Для того чтобы избежать всех возможных последствий аварийных или ненормальных режимов работы трансформатора и используют релейную защиту. Чтобы релейная защита корректно и селективно работала, она должна соответствовать всем требованиям, установленным для неё в нормативных документах.

Релейная защита представлена в нескольких исполнениях. В данной работе будет использована защита на микропроцессорной технике, ввиду её более высокой чувствительности, надежности, устойчивости, удобства настройки. Стоит отметить, меньшую массу и меньшие габариты этой защиты. Также одним из плюсов этой защиты является её предавать информацию от защиты на географически удаленные уровни управления. Еще одним из критериев выбора микропроцессорной защиты было её преобладание в будущем и удобство в использовании для будущей цифровой сети России. Исходя из всех вышеперечисленных преимуществ и возможностей микропроцессорной релейной защиты, выполнение релейной защиты автотрансформатора было принято рассмотреть на базе микропроцессорного терминала релейной защиты.

1. Анализ исходных данных и принятие предварительных проектных решений

1.1 Характеристика защищаемого объекта

В данной курсовой работе необходимо произвести выбор релейной защиты автотрансформатора на ПС Томская-500 кВ Томской энергосистемы. Автотрансформатор АТДЦТН-500000/500/220-У1 (далее «автотрансформатор») имеет мощность 500 МВА, номинальное напряжение 500/230/10.42. Регулирование напряжения под нагрузкой осуществляется в пределах от -11,2% до +9.4%, ± 8 ступеней.

Для расчета нам понадобятся объекты первой и второй периферии [приложение 1].

Объекты первой периферии:

-двухцепная воздушная линия №526, №527 ПС Томская – ПС Ново-Анжерская 500 кВ;

- двухцепная воздушная линия №176, №177 ПС Томская – ПС Орловка 220 кВ;

-воздушная линия №199 ПС Томская – ПС Асино 220 кВ;

-двухцепная воздушная линия №200, №201 ПС Томская – ПС Восточная 220 кВ;

-воздушная линия №202 ПС Томская – ПС СХК 220 кВ;

-воздушная линия №203 ПС Томская – ПС ГПП 220 кВ;

-воздушная линия №216 ПС Томская – ТЭЦ-3 220 кВ;

Объекты второй периферии:

-автотрансформатор на ПС Ново-Анжерская 500 кВ;

-двухцепная воздушная линия №173, №174 ПС Орловка – ПС Володино 220 кВ;

-автотрансформатор на ПС Асино 220 кВ;

-воздушная линия №215 ПС Восточная – Ново-Анжерская 220 кВ;

-воздушная линия №187 ПС Восточная – Зональная 220 кВ;

-автотрансформаторы на ПС Восточная 220 кВ;

-двухцепная воздушная линия №227, №228 ПС Восточная – ПС СХК 220 кВ;

-автотрансформатор на ПС СХК 220 кВ;

- воздушная линия №222 ПС СХК – ГПП 220 кВ;
- автотрансформаторы на ПС ГПП 220 кВ;
- двухцепная воздушная линия №217, №218 ПС ГПП – ТЭЦ-3 220 кВ;
- автотрансформатор на ТЭЦ-3 220 кВ;

В качестве исходных данных используются параметры объектов, взятые из базы данных программного комплекса АРМ СРЗА.

1.2 Выбор и обоснование устанавливаемых защит

В соответствие с ПУЭ [1]:

3.2.51. Для трансформаторов должны быть предусмотрены устройства релейной защиты от следующих видов повреждений и ненормальных режимов работы:

- 1) многофазные замыкания в обмотках и на выводах;
- 2) однофазные замыкания в обмотках и на выводах, присоединенных к сети с глухозаземленной нейтралью;
- 3) витковые замыкания в обмотках;
- 4) токов в обмотках, обусловленных внешними КЗ;
- 5) токов в обмотках, обусловленных перегрузкой;
- 6) понижения уровня масла;
- 7) частичного пробоя изоляции вводов 500 кВ;
- 8) однофазных замыканий на землю в сетях 3 - 10 кВ с изолированной нейтралью, если трансформатор питает сеть, в которой отключение однофазных замыканий на землю необходимо по требованиям безопасности.

Примем следующий перечень защит и сведем данные в таблицу 1.

Таблица 1.1 - Перечень защит автотрансформатора

Название защиты	Описание защиты
Газовая защита	Используется как чувствительная защита от повреждений в кожухе АТ. Выполняется в виде устройства газового реле, сигнал от которого принимается микропроцессорной защитой.
Продольная дифференциальная токовая защита	Предназначена для защиты от всех видов КЗ в обмотках и на выводах
Максимальная токовая защита (МТЗ) с возможностью пуска по напряжению	Предназначена для защиты АТ от внешних КЗ и резервирования основных защит АТ.
Защита от перегрузки (ЗП)	Защищает АТ от симметричной перегрузки. Защита действует на сигнал.
Токовая направленная защита нулевой последовательности (ТНЗНП)	Предназначена для резервирования отключения замыканий на землю на смежных элементах. Для обеспечения селективности выполняется направленной.

1.3 Выбор аппаратной реализации РЗА

Для защиты автотрансформатора принимаем микропроцессорные шкафы защиты производства ООО НПП «ЭКРА»: ШЭ2710 542-543 и ШЭ2710 572.

Данная компания существует на рынке более 20 лет и зарекомендовала себя как поставщик качественной и надежной продукции при достаточно невысокой стоимости. ООО НПП «ЭКРА» является надежным партнером генерирующих, промышленных предприятий и распределительных компаний по всей России и за рубежом.

В соответствии с руководством по эксплуатации [2] шкаф типа ШЭ2710 542-543 предназначен для защиты автотрансформатора с высшим напряжением 330 кВ и выше. Комплекс основных защит АТ состоит из двух шкафов. Если защищаемый АТ имеет на стороне НН линейный регулировочный

трансформатор (ЛРТ) либо разветвленную ошиновку стороны НН, то в состав комплекса входят шкафы ШЭ2710 542-543

Шкаф типа ШЭ2710 572 предназначен в качестве резервной защиты одной стороны АТ с высшим напряжением 330–750 кВ. Применяется на стороне ВН присоединения АТ через два и более выключателя. На стороне СН АТ устанавливается шкаф ШЭ2607 071 или ШЭ2607 072. Предусмотрено взаимодействие защит этих шкафов между собой. Содержит один комплект, реализующий функции ДЗ, ТНЗНП, МТЗ и АРПТ.

1.4 Выбор устройств защиты

Для защиты автотрансформатора воспользуемся продукцией ООО НПП «ЭКРА». В качестве комплекса основных и резервных защит автотрансформатора принимаем микропроцессорные шкафы: ШЭ2710 542-543 и ШЭ2710 572.

Шкаф типа ШЭ2710 542-543 предназначен для защиты автотрансформатора (АТ) с высшим напряжением 330 кВ и выше. Комплект защит реализует функции основных и резервных защит автотрансформатора и содержит:

- дифференциальную токовую защиту АТ (ДЗТ АТ) от всех видов КЗ внутри бака АТ,
- максимальную токовую защиту стороны низкого напряжения (НН) АТ с пуском по напряжению (МТЗ НН),
- контроль изоляции высоковольтных вводов (КИВ ВН),
- УРОВ СН,
- УРОВ НН,
- ЗДЗ НН1,
- ЗДЗ НН2,
- защита от потери охлаждения,
- защита от перегрузки,
- блокировка РПН,

ГЗ АТ сигнальная и отключающая ступени, ГЗ РПН АТ, ГЗ ЛРТ сигнальная и отключающая ступени,

- логику пуска пожаротушения,
- контроль изоляции НН,
- логику срабатывания предохранительного клапана, отсечного клапана,
- приём сигналов от датчиков температуры масла, уровня масла.

Цепи переменного тока шкафа обеспечивают подключение к вторичным цепям главных трансформаторов тока с номинальным вторичным током 1 или 5 А.

Шкаф типа ШЭ2710 572 предназначен для использования в качестве резервной защиты АТ на стороне ВН 330-750 кВ при наличии до 4 выключателей, подключенных к АТ непосредственно на этой стороне.

Комплект содержит:

- пять ступеней дистанционной защиты (ДЗ) от междуфазных замыканий;
- шесть ступеней токовой направленной защиты нулевой последовательности (ТНЗНП);
- две ступени максимальной токовой защиты (МТЗ);
- АРПТ;

1.5 Выбор измерительных трансформаторов.

1.5.1 Выбор трансформатора тока

Трансформаторы тока выбираются [1, стр. 373]:

– по напряжению установки:

$$U_{уст} \leq U_{ном} \quad (1.1)$$

– по току:

$$I_{норм} \leq I_{ном}, \quad (1.2)$$

$$I_{max} \leq I_{ном} \quad (1.3)$$

Номинальный ток должен быть как можно ближе к рабочему току установки, так как недогрузка первичной обмотки приводит к увеличению погрешностей.

– по конструкции и классу точности;

– по электродинамической стойкости:

$$i_y \leq \sqrt{2} \cdot k_{эд} \cdot I_{ном}, \quad (1.4)$$

$$i_y \leq i_{дин} \quad (1.5)$$

Где

i_y – ударный ток короткого замыкания по расчету;

$k_{эд}$ – кратность электродинамической стойкости по каталогу;

$I_{ном}$ – номинальный первичный ток трансформатора тока;

$i_{дин}$ – ток электродинамической стойкости.

Электродинамическая стойкость шинных трансформаторов тока определяется устойчивостью самих шин распределительного устройства, вследствие этого такие трансформаторы по этому условию не проверяются.

– по термической стойкости:

$$B_k \leq (k_t \cdot I_{ном})^2 \cdot t_{тер}, \quad (1.6)$$

$$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \quad (1.7)$$

Где

B_k – тепловой импульс по расчету;

k_t – кратность термической стойкости по каталогу;

$I_{тер}$ – ток термической стойкости;

$t_{тер}$ – время термической стойкости.

– по вторичной нагрузке:

$$Z_2 \leq Z_{2ном} \quad (1.8)$$

Где

Z_2 – вторичная нагрузка трансформатора тока;

$Z_{2ном}$ – номинальная допустимая нагрузка трансформатора тока в выбранном классе точности.

Определим первичные токи для всех сторон защищаемого автотрансформатора, соответствующего его номинально мощности.

$$I_{НОМ,ВН} = \frac{S_{НОМ,АТ}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}} = \frac{500000}{\sqrt{3} \cdot 500} = 560,53 \text{ А}$$

$$I_{НОМ,СН} = \frac{S_{НОМ,АТ}}{\sqrt{3} \cdot U_{СН}} = \frac{500000}{\sqrt{3} \cdot 230} = 1255,11 \text{ А}$$

$$I_{НОМ,НН} = \frac{S_{НОМ,НН}}{\sqrt{3} \cdot U_{НН}} = \frac{125000}{\sqrt{3} \cdot 11} = 6560,8 \text{ А}$$

Выбираем трансформаторы тока по каталожным данным [3] со следующими параметрами:

Таблица 1.2 – Параметры трансформаторов тока

Сторона автотрансфо- -рматора	Тип	Напря- - жение $U_{ном},$ кВ	Номинальный ток, А		Варианты исполнени я по вторичным обмоткам	Ток стойкости, кА		Врем я $t_{тер}, \text{ с}$	Нагрузка измерительно й обмотки $S_{2ном}, \text{ В} \cdot \text{А}$
			Перв. $I_{1ном}$	Втор · $I_{2ном}$		Эл.дин · $i_{дин}$	Терм · $I_{тер}$		
ВН	ТГФ-500	500	1000	5	0,5/10Р	160	63	2	75
СН	ТФЗМ220 Б	220	2000	5	0,5/10Р	19.8	19.8	3	50
НН	ТВ10-IV	10	8000	5	0,5/10Р	-	-	-	20

1.5.2 Выбор трансформатора напряжения

Трансформаторы напряжения выбираются [7, стр. 375]:

– по напряжению установки:

$$U_{уст} \leq U_{ном} \quad (1.9)$$

– по классу точности;

– по вторичной нагрузке:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{ном} \quad (1.10)$$

Где $S_{2\Sigma}$ – нагрузка всех измерительных приборов и реле присоединенных к трансформатору напряжения.

$S_{ном}$ – номинальная мощность в выбранном классе точности, при этом следует иметь в виду, что для однофазных трансформаторов, соединенных в звезду, следует взять суммарную мощность всех трех фаз, а для трансформаторов, соединенных по схеме открытого треугольника – удвоенную мощность одного трансформатора;

Для упрощенного расчета нагрузку приборов можно не разделять по фазам, тогда:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{\left(\sum S_{приб} \cdot \cos \varphi_{приб}\right)^2 + \left(\sum S_{приб} \cdot \sin \varphi_{приб}\right)^2} = \sqrt{P_{приб}^2 + Q_{приб}^2} \quad (1.11)$$

Если вторичная нагрузка превышает номинальную мощность в выбранном классе точности, то устанавливают второй трансформатор напряжения и часть приборов присоединяют к нему.

Выбираем трансформаторы напряжения по каталожным данным [7, стр. 634] со следующими параметрами:

Таблица 1.3 – Параметры трансформаторов напряжения

Сторона автотрансформатора	Тип	Номинальное напряжение обмотки			Номинальная мощность, В·А				Максим альная мощнос ть, В·А
		Перв., кВ	Осн. втор., В	Доп., В	0,2	0,5	1	3	
ВН	НКФ- 500- 78У1	500/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	100	-	-	500	1000	2000
СН	НКФ- 220- 58У1	220/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	100	-	400	600	1200	2000
НН	НОМ- 10- 66У3	11	100	-	-	75	750	300	640

2. Расчет параметров релейной защиты

2.1 Продольная дифференциальная токовая защита

Продольная дифференциальная защита автотрансформатора используется в качестве основной защиты от внутренних повреждений и от повреждений на выводах. Микропроцессорное выполнение данной защиты помогает избавиться от факторов, влияющих на достижение высокой чувствительности, а именно сдвиг фаз и неравенство абсолютных значений на вторичных обмотках трансформатора тока. При компенсации данных явлений, соответствующие составляющие «тока небаланса» в дифференциальной цепи защиты практически исключаются.[7] Но все же полностью невозможно избавиться от «тока небаланса», поэтому в большинстве микропроцессорных защит реализована функция продольной дифференциальной защиты с торможением. В защитах НПП «ЭКРА» данная защита выполнена пофазной и содержит чувствительный токовый орган с тормозной характеристикой и дифференциальную отсечку. ДТЗ срабатывает при всех видах КЗ в зоне действия защиты.

Схема соединения силового автотрансформатора ВН/СН/НН - Y/Y/Δ. Так как для защиты используются встроенные трансформаторы тока, компенсация фазового сдвига и коэффициента схемы не требуется [3].

Вторичные обмотки главных ТТ на всех сторонах соединены по схеме «звезда»: $K_{CX,TT,CTOP} = 1$.

Первичные токи автотрансформатора, соответствующие типовой мощности определяются по выражению:

$$I_{НОМ,СТОР} = \frac{S_{ПРОХ}}{\sqrt{3} \cdot U_{СТОР}},$$

где $S_{ПРОХ}$ - проходная мощность;

$U_{СТОР}$ - напряжение соответствующей стороны.

Максимальные токи КЗ протекающие через трансформаторы тока обусловлены трехфазным КЗ на шинах соответствующей стороны. Для получения значений токов КЗ, смоделируем трехфазные замыкания в узлах 101, 96, 104 результаты расчета приведены на рисунке:

```

===== АРМ СРЗА г.Новосибирск ПК БРИЗ =====
ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-ENES_Tomskoy_oblasti ДАТА-08.11.2019. ВРЕМЯ-16:22:23. #40
**** П О В Р Е Ж Д Е Н И Я ****
101 3-трехфазное КЗ (АВС)
**** К О М М У Т А Ц И И ****
105-101 Отключение и заземление с двух сторон
105-104 Отключение и заземление с двух сторон
105-96 Отключение и заземление с двух сторон
Р Е З У Л Ь Т А Т Ы Р А С Ч Е Т А
-----
Суммарные величины в узле КЗ:
Uпа=526.4/-1 Z1=4.613+j23.282 Z2=4.617+j23.279 Z0=6.163+j61.474
I1сум 12775 101 I2сум 6 165 3I0сум 0 0
IAсум 12778 101 IBсум 12779 -19 ICсум 12769 -139
IABсум 22139 131 IBCсум 22123 11 ICАсум 22121 -109
-----
101-103 IA 835 84 IB 839 -37 IC 828 -157
I1 834 83 I2 6 164 3I0 1 0
UA 0.02 9 UB 0.02 9 UC 0.02 9
U1 0.00 0 U2 0.00 0 3U0 0.06 9

```

```

===== АРМ СРЗА г.Новосибирск ПК БРИЗ =====
ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-ENES_Tomskoy_oblasti ДАТА-08.11.2019. ВРЕМЯ-16:23:06. #41
**** П О В Р Е Ж Д Е Н И Я ****
96 3-трехфазное КЗ (АВС)
**** К О М М У Т А Ц И И ****
105-101 Отключение и заземление с двух сторон
105-104 Отключение и заземление с двух сторон
105-96 Отключение и заземление с двух сторон
Р Е З У Л Ь Т А Т Ы Р А С Ч Е Т А
-----
Суммарные величины в узле КЗ:
Упа=231.3/-7 Z1=2.665+j16.766 Z2=2.760+j16.741 Z0=0.949+j10.498
I1сум 7782 92 I2сум 24 172 3I0сум 0 0
IAсум 7786 92 IBсум 7800 -28 ICсум 7759 -148
IABсум 13517 122 IBCсум 13472 2 ICAсум 13446 -118
-----
96-103 IA 2899 92 IB 2900 -28 IC 2900 -148
I1 2900 92 I2 0 0 3I0 2 -71
UA 0.02 17 UB 0.02 17 UC 0.02 17
U1 0.00 0 U2 0.00 0 3U0 0.06 17
-----
===== АРМ СРЗА г.Новосибирск ПК БРИЗ =====
ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-ENES_Tomskoy_oblasti ДАТА-08.11.2019. ВРЕМЯ-16:25:30. #42
**** П О В Р Е Ж Д Е Н И Я ****
104 3-трехфазное КЗ (АВС)
**** К О М М У Т А Ц И И ****
105-101 Отключение и заземление с двух сторон
105-104 Отключение и заземление с двух сторон
105-96 Отключение и заземление с двух сторон
Р Е З У Л Ь Т А Т Ы Р А С Ч Е Т А
-----
Суммарные величины в узле КЗ:
Упа=10.0/-7 Z1=0.008+j0.161 Z2=0.009+j0.161 Z0=0.000-j-0.000
I1сум 35174 85 I2сум 167 166 3I0сум 0 0
IAсум 35202 86 IBсум 35303 -35 ICсум 35018 -155
IABсум 61195 116 IBCсум 60876 -5 ICAсум 60701 -124
-----
104-103 IA 35212 86 IB 35296 -35 IC 35016 -155
I1 35174 85 I2 167 166 3I0 30 105
UA 0.00 0 UB 0.00 0 UC 0.00 0
U1 0.00 0 U2 0.00 0 3U0 0.00 0

```

Рисунок 2.1 – Расчет АРМ СРЗА 3-х фазного КЗ на шинах АТ

На стороне ВН: $I_{КЗ} = 839 \text{ А}$, кратность тока

$$K = \frac{839}{560,53} = 1,5 \leq K_{пред} = 15;$$

на стороне СН: $I_{КЗ} = 2900 \text{ А}$, кратность тока

$$K = \frac{2900}{1255,11} = 2,31 \leq K_{пред} = 20;$$

на стороне НН: $I_{КЗ} = 35296 \text{ А}$, кратность тока

$$K = \frac{35296}{6560,8} = 5,38 \leq K_{пред} = 25.$$

Базисные токи по сторонам:

$$I_{БАЗ,СТОП} = \frac{K_{СХ,ТТ,СТОП}}{K_{ТТ,СТОП}} \cdot I_{НОМ,СТОП},$$

Где $K_{СХ,ТТ,СТОП}$ - коэффициент схемы, $K_{СХ,ТТ,СТОП} = 1$;

$K_{ТТ,СТОР}$ - коэффициент трансформации ТТ стороны;

$I_{НОМ,СТОР}$ - номинальный первичный ток АТ стороны.

Так как базисный ток не выходит за пределы диапазона от 0,251 до 16А, то внешний промежуточный выравнивающий трансформатор или автотрансформатор не используется [5]. Сведем полученные данные в таблицу.

Таблица 2.1 – Первичные токи АТ и вторичные токи в плечах защиты

Наименование величины	Обозначение и метод определения	Численные значения для сторон		
		500 кВ	220 кВ	10.5 кВ
Первичные номинальные токи трансформатора, А	$I_{НОМ} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3}U_{НОМ}}$	$\frac{500000}{\sqrt{3} \cdot 515} = 560,53$	$\frac{500000}{\sqrt{3} \cdot 230} = 1255,11$	$\frac{125000}{\sqrt{3} \cdot 11} = 6560.8$
Коэффициент трансформации ТА	$n_{ТТ}$	$1000/5$	$2000/5$	$8000/5$
Вторичные токи в плечах защиты, А	$I_{НОМ} = \frac{I_{НОМ} \cdot k_{СХ}}{n_{ТТ}}$	$\frac{560.53}{1000/5} = 2.8$	$\frac{1255.11}{2000/5} = 3.14$	$\frac{6873.22}{8000/5} = 4.3$

Характеристика срабатывания ДТЗ с торможением представлена на рисунке 2.2.

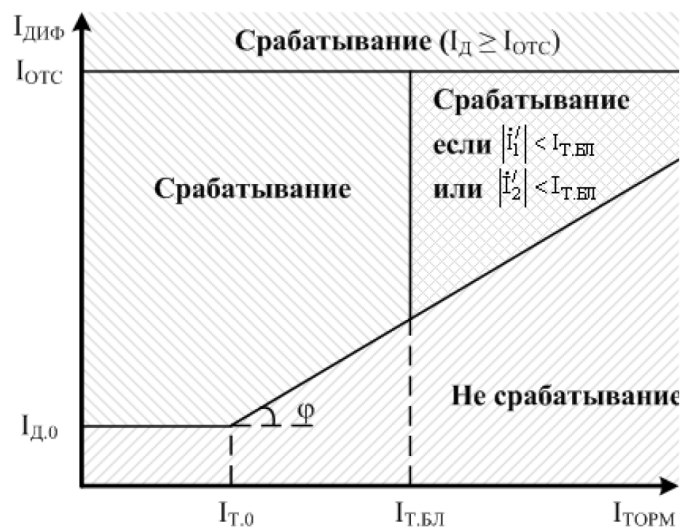


Рисунок 2.2 - Характеристика срабатывания дифференциальной защиты с торможением

Где:

$I_{д.0}$ - начальный ток срабатывания ДТЗ; $I_{т.0}$ - ток начала торможения ДТЗ;

$I_{т.вл}$ - ток торможения блокировки ДТЗ;

$K_T = \operatorname{tg} \varphi$ - коэффициент торможения ДТЗ;

$I_{отс}$ - ток срабатывания дифференциальной отсечки

Расчет ДЗТ заключается в расчете и выборе параметров, представленных на характеристике. Расчет будем производить с методикой, изложенной в [6].

2.1.1 Ток начала торможения

Ток начала торможения в относительных единицах рекомендуется принимать равным 1,0.

Уставка $I_{т.0} = 1$.

2.1.2 Относительный начальный ток срабатывания

Определяется в соответствии с выражением:

$$I_{д.0} = K_{отс} \cdot I_{нб.расч} = K_{отс} \cdot (K_{одн} \cdot K_{пер} \cdot \varepsilon + \Delta U_{рпн} + \Delta f_{выр} + \Delta f_{птг}) \cdot I_{т.0.расч},$$

где $\Delta U_{рпн}$ — относительная погрешность, обусловленная регулированием напряжения на сторонах защищаемого трансформатора; принимается равной большему значению диапазона регулирования

$\Delta U_{РПН} = \max(\Delta U_{РПН.МАХ}; \Delta U_{РПН.МІН}) = 0,112$, так как регулирование на стороне СН (-11.2; +9.4) %;

$\varepsilon = 0,1$ – относительное значение полной погрешности ТТ в режиме КЗ;

$I_{Т.0.РАСЧ} = 1,0$ – принимаем значение расчетного тока начала торможения согласно рекомендованному фирмой «ЭКРА».

Принимаем $K_{ОТС} = 1,3$, $K_{ОДН} = 1,0$, $K_{ПЕР} = 2,0$, $\Delta f_{ВЫР} = 0,02$, $\Delta U_{РПН} = 0,112$.

Внешний промежуточный выравнивающий трансформатор или автотрансформатор не используется, поэтому $\Delta f_{ПТТ} = 0$.

Получаем относительный начальный ток срабатывания:

$$I_{Д.0} = K_{ОТС} \cdot (K_{ОДН} \cdot K_{ПЕР} \cdot \varepsilon + \Delta U_{РПН} + \Delta f_{ВЫР} + \Delta f_{ПТТ}) \cdot I_{Т.0.РАСЧ} = 1,3 \cdot (1 \cdot 2 \cdot 0,1 + 0,112 + 0,02 + 0) \cdot 1 = 0,44$$

Принимаем $I_{Д.0} = 0,44$.

2.1.3 Коэффициент торможения

Определяется коэффициент торможения в соответствии с выражением:

$$K_T \geq \frac{K_{ОТС} \cdot I_{НБ} - I_{Д.0}}{I_T - I_{Т.0}},$$

где $K_{ОТС}$ – коэффициент отстройки, принимаемый из диапазона от 1,1 до 1,3;

$I_{Д.0}$ – принятое значение минимального тока срабатывания;

$I_{Т.0}$ – принятое значение тока начала торможения;

$I_{НБ}$ – расчетный ток небаланса, вызванный протеканием по защищаемому АТ сквозного тока и рассчитываемый по выражению:

$$I_{НБ} = (K_{ОДН} \cdot K_{ПЕР} \cdot \varepsilon + \Delta U_{РПН} + \Delta f_{ВЫР} + \Delta f_{ПТТ}) \cdot I_{СКВ*},$$

где $I_{СКВ*}$ – максимальное значение тока, равное току внешнего металлического КЗ, приведенное к базисному току стороны внешнего КЗ, определяемый по выражению:

$$I_{СКВ*} = \frac{I_{КЗ,МЕ,СТОП}}{I_{БАЗ,СТОП}} \cdot \frac{K_{СХ,ТТ,СТОП}}{K_{ТТ,СТОП}},$$

где

$I_{K3,Me,CTOP}$ – ток внешнего металлического КЗ в т.К₁;

$I_{BA3,CTOP}$ – базисный ток соответствующей стороны АТ;

$K_{TT,CTOP}$ – коэффициент трансформации ТТ, соответствующей стороны АТ;

$K_{CX,TT,CTOP}$ – коэффициент, учитывающий схему соединения вторичных обмоток главных ТТ соответствующей стороны.

I_T – расчетный тормозной ток, определяемый по выражению:

$$I_T = \sqrt{I_{CKB*} \cdot (I_{CKB*} - I_{HB}) \cdot \cos \beta},$$

где $\beta = 180 - \alpha$, α – угол между векторами токов I_{CKB*} и $(I_{CKB*} - I_{HB})$. В проектных расчетах может быть принят $\beta = (10 \div 20)^\circ$.

Принимаем $\varepsilon = 0,1$, $\beta = 10^\circ$.

Максимальный первичный ток, приведенный к ВН и протекающий через защищаемый трансформатор при внешнем КЗ:

$$I_{K3,Me,BH} = 839 \text{ A}$$

$$I_{CKB*} = \frac{I_{K3,Me,BH}}{I_{BA3,BH}} \cdot \frac{K_{CX,TT,BH}}{K_{TT,BH}} = \frac{839}{2,8} \cdot \frac{1}{1000/5} = 1,5;$$

$$I_{HB} = (K_{ОДН} \cdot K_{ПЕР} \cdot \varepsilon + \Delta U_{РПН} + \Delta f_{ВЫР} + \Delta f_{ПТТ}) \cdot I_{CKB*} = (1 \cdot 2 \cdot 0,1 + 0,112 + 0,02 + 0) \cdot 1,5 = 0,5,$$

$$I_T = \sqrt{I_{CKB*} \cdot (I_{CKB*} - I_{HB}) \cdot \cos \beta} = \sqrt{1,5 \cdot (1,5 - 0,5) \cdot \cos 10^\circ} = 1,2,$$

$$K_T \geq \frac{K_{ОТС} \cdot I_{HB} - I_{Д,0}}{I_T - I_{Т,0}} = \frac{1,1 \cdot 0,5 - 0,44}{1,2 - 1,0} = 0,55.$$

Согласно [6], принимаем:

$$K_T = 0,6.$$

2.1.4 Ток торможения блокировки

Для исключения отказа защиты при максимальных нагрузках трансформатора рассчитаем ток торможения блокировки в соответствии с выражением:

$$I_{Т.БЛ} = K_{ОТС} \cdot K_{ПРЕД.НАГР} \cdot I_{НОМ*},$$

где $K_{ОТС}$ – коэффициент отстройки, принимаемый равным 1,1;

$K_{ПРЕД.НАГР}$ – коэффициент, определяющий предельную нагрузочную способность АТ в зависимости от его мощности, принимается из диапазона от 1,5 до 2,0: $K_{ПРЕД.НАГР} = 1,5$ – для АТ большой мощности (>100 МВА);

$I_{НОМ*}$ – относительный номинальный ток АТ, определяемый по выражению:

$$I_{НОМ*} = \frac{I_{НОМ.НАГР}}{I_{БАЗ,СТОП}} \cdot \frac{K_{СХ,ТТ,СТОП}}{K_{ТТ,СТОП}},$$

где $I_{НОМ.НАГР}$ – максимально возможный сквозной ток нагрузки АТ.

$$I_{Т.БЛ} = K_{ОТС} \cdot K_{ПРЕД.НАГР} \cdot I_{НОМ*} = 1,1 \cdot 1,5 \cdot \frac{560,53}{0,56} \cdot \frac{1}{1000 / 1} = 1,65$$

Согласно [6], принимаем:

$$I_{Т.БЛ} = 1,7.$$

2.1.5 Ток срабатывания дифференциальной отсечки

Ток срабатывания дифференциальной отсечки должен выбираться исходя из двух условий:

– отстройки от броска тока намагничивания силового трансформатора $I_{ОТС*} \geq 6,5$,

– отстройки от максимального первичного тока небаланса при переходном режиме расчетного внешнего КЗ по выражению:

$$I_{ОТС*} = 1,5 \cdot I_{КЗ*} \cdot (K_{ОДН} \cdot K_{ПЕР} \cdot \varepsilon + \Delta U_{РПН} + \Delta f_{ВЫР} + \Delta f_{ПТТ}),$$

где $I_{КЗ*} = \frac{I_{КЗ,МЕ,СТОП}}{I_{БАЗ,СТОП}} \cdot \frac{K_{СХ,ТТ,СТОП}}{K_{ТТ,СТОП}}$ – максимальное значение тока, равное току внешнего металлического КЗ и приведенное к базисному току стороны этого внешнего КЗ;

$K_{ПЕР}$ – коэффициент, учитывающий переходной режим, принимается равным 3,0.

$$I_{ОТС*} \geq 6,5.$$

$$I_{ОТС*} = 1,5 \cdot I_{КЗ*} \cdot (K_{ОДН} \cdot K_{ПЕР} \cdot \varepsilon + \Delta U_{РПН} + \Delta f_{ВЫР} + \Delta f_{ПТТ}) = \\ = 1,5 \cdot \frac{839}{2,8} \cdot \frac{1}{1000/5} \cdot (1 \cdot 3 \cdot 0,1 + 0,112 + 0,02 + 0) = 0,97$$

Принимаем $I_{ОТС*} = 6,5$.

2.1.6 Уровень блокировки по второй гармонике

Для предотвращения ложной работы ДТЗ АТ при БТН в момент включения трансформатора под напряжение, а также для дополнительной отстройки защиты от тока небаланса переходного режима внешнего КЗ (когда увеличенная погрешность ТТ, обусловленная насыщением, приводит к появлению второй гармонической составляющей тока) выполнена блокировка защиты по превышению отношения тока второй гармонической составляющей к току промышленной частоты – $K_{БЛ.2} = I_{Д.100Гц} / I_{Д.50Гц}$.

По опыту эксплуатации рекомендуется параметр срабатывания блокировки по второй гармонике $K_{БЛ.2}$ для защит автотрансформаторов выбирать на уровне 0,15.

$$K_{БЛ.2} = 0,15.$$

2.1.7 Проверка чувствительности ДЗТ

Коэффициент чувствительности равен

$$K_{\chi} = \frac{I_{КЗ}}{I_{*ДО} \cdot i_{баз} \cdot k_{ТТ}},$$

где $I_{КЗ}$ – ток КЗ определенной стороны;

$I_{баз}$ – базисный ток определенной стороны;

$I_{*до}$ – дифференциальный ток срабатывания ДЗТ;

$K_{ТТ}$ – коэффициент трансформации ТТ базисной стороны.

Коэффициент чувствительности для ВН АТ.

```

ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-ENES_Tomskoy_oblasti  ДАТА-02.12.2019.  ВРЕМЯ-18:15:01.  #1
**** П О В Р Е Ж Д Е Н И Я ****
101 2-двухфазное КЗ (ВС)
**** К О М М У Т А Ц И И ****
105-101 Отключение и заземление с двух сторон
105-104 Отключение и заземление с двух сторон
105-96  Отключение и заземление с двух сторон
      РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА
-----
Суммарные величины в узле КЗ:
Uпа=526.4/-1  Z1=4.613+j23.282  Z2=4.617+j23.279  Z0=6.163+j61.474
I1сум      6386  101  I2сум      6386  -79  3I0сум      0  0
IAсум       0  0  IBсум      11061  11  ICсум      11061 -169
IABсум     11061 -169  IBCсум     22123  11  ICAсум     11061 -169
-----
      103-101  IA      229  138      IB      631  179      IC      1135  -12
              I1      363 -112      I2      491  94      3I0      1  0
              UA     278.20  -7      UB     188.51 -145      UC     185.84 131
              U1     211.44  -7      U2      66.71  -6      3U0      0.20 16

```

Рисунок 2.3 – Расчет АРМ СРЗА 2-х фазного КЗ ВН АТ

$$K_{ч\ ВН} = \frac{I_{кз}}{I_{*ДО} \cdot i_{баз} \cdot k_{ТТ}} = \frac{1135}{0,44 \cdot 2,8 \cdot 200} = 4,6 > 2$$

Чувствительность удовлетворяет требованию.

Коэффициент чувствительности для СН АТ

```

===== АРМ СРЗА г.Новосибирск ПК БРИЗ =====
ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-ENES_Tomskoy_oblasti  ДАТА-02.12.2019.  ВРЕМЯ-18:17:10.  #8
**** П О В Р Е Ж Д Е Н И Я ****
96 2-двухфазное КЗ (ВС)
**** К О М М У Т А Ц И И ****
105-101 Отключение и заземление с двух сторон
105-104 Отключение и заземление с двух сторон
105-96  Отключение и заземление с двух сторон
      РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА
-----
Суммарные величины в узле КЗ:
Uпа=231.3/-7  Z1=2.665+j16.766  Z2=2.760+j16.741  Z0=0.949+j10.498
I1сум      3888  91  I2сум      3888  -89  3I0сум      0  0
IAсум       0  0  IBсум      6735  1  ICсум      6735 -179
IABсум     6735 -179  IBCсум     13469  1  ICAсум     6735 -179
-----
      96-103  IA      458  138      IB      2681  -1  IC      2351 -174
              I1      1618  98      I2      1300 -95      3I0      3  -64
              UA     131.14  -8      UB      65.52 172      UC      65.52 172
              U1      65.55  -8      U2      65.55  -8      3U0      0.11 23

```

Рисунок 2.4 – Расчет АРМ СРЗА 2-х фазного КЗ СН АТ

Приведём значение тока 2-х фазного КЗ (как наименьшего при несимметричном КЗ на СН АТ) к базисной стороне ВН.

$$K_{ч\ СН} = \frac{I_{кз}}{I_{*ДО} \cdot i_{баз} \cdot k_{ТТ}} = \frac{2681}{0,44 \cdot 3,14 \cdot 400} = 4,85 > 2$$

Чувствительность удовлетворяет требованию.

Коэффициент чувствительности для НН АТ.

```

===== АРМ СРЗА г.Новосибирск ПК БРИЗ =====
ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-ENES_Tomskoy_oblasti  ДАТА-02.12.2019.  ВРЕМЯ-18:20:17.  #12
**** П О В Р Е Ж Д Е Н И Я ****
104 2-двухфазное КЗ (ВС)
**** К О М М У Т А Ц И И ****
105-101 Отключение и заземление с двух сторон
105-104 Отключение и заземление с двух сторон
105-96 Отключение и заземление с двух сторон
      Р Е З У Л Ь Т А Т Ы    Р А С Ч Е Т А
-----
Суммарные величины в узле КЗ:
Uпа=10.0/-7  Z1=0.008+j0.161  Z2=0.009+j0.161  Z0=0.000-j-0.000
I1сум  17573  85  I2сум  17573  -95  3I0сум  0  0
IAсум   0  0  IBсум  30437  -5  ICсум  30437  175
IABсум  30437  175  IBCсум  60875  -5  ICАсум  30437  175
-----
      104-103  IA      496  150      IB  30657  -5      IC  30218  175
              I1      17673  86      I2  17476  -96      3I0      32  106
              UA      5.68  -7      UB  2.84  173      UC  2.84  173
              U1      2.84  -7      U2  2.84  -7      3U0  0.00  0

```

Рисунок 2.5 – Расчет АРМ СРЗА 2-х фазного КЗ НН АТ

Приведём значение тока 2-х фазного КЗ к базисной стороне ВН.

$$K_{ч\text{ НН}} = \frac{I_{кз}}{I_{*ДО} \cdot i_{баз} \cdot k_{ТТ}} = \frac{30657}{0,44 \cdot 4,3 \cdot 1600} = 10,13 > 2$$

Чувствительность удовлетворяет требованию.

На рисунке 2.5 представлена характеристика срабатывания, построенная по рассчитанным уставкам.

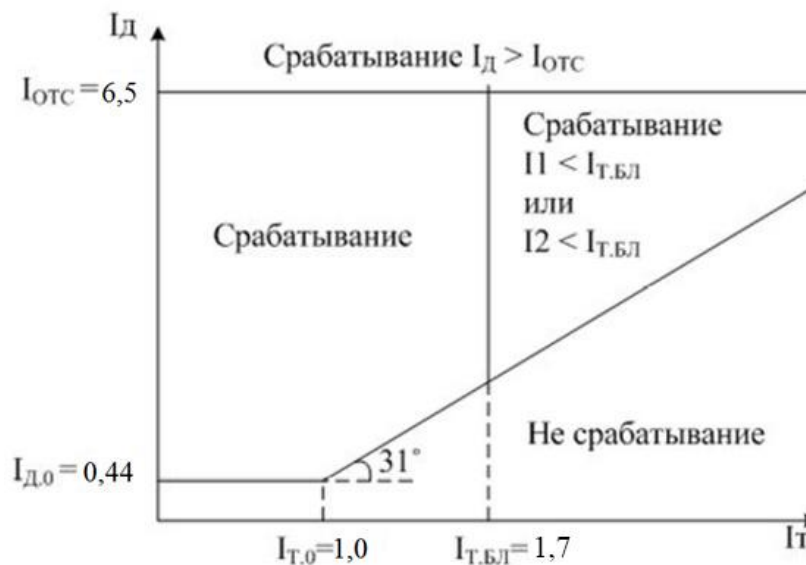


Рисунок 2.6 - Характеристика срабатывания ДТЗ

2.2 Расчет максимальной токовой защиты с пуском по напряжению

Для отключения КЗ и для резервирования защит элементов, присоединенных к этим шинам, предусматривается МТЗ с комбинированным пуском по напряжению.

МТЗ рассчитывается согласованно с защитами смежных элементов и отстраивается от максимального рабочего тока. Также МТЗ должна быть согласована с МТЗ вышестоящих элементов.

Параметры срабатывания МТЗ проверяют по чувствительности к междуфазным КЗ за трансформатором в минимальном режиме. В качестве основной защиты коэффициент чувствительности должен быть не ниже 1,5, и не менее 1,2 при КЗ в конце зоны резервирования.

2.2.1 Расчет параметра срабатывания максимального ИО тока

Первичный ток срабатывания МТЗ с пуском по напряжению отстраивается от максимального нагрузочного тока трансформатора без учета самозапуска:

$$I_{CЗ} \geq \frac{K_{ОТС} \cdot K_{СЗП}}{K_B} \cdot I_{РАБ.МАКС},$$

Где,

$K_{ОТС}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2; [6]

$K_{СЗП}$ – коэффициент самозапуска, принимается равным 1; [6]

K_B – коэффициент возврата, который принимается равным 0,95; [6]

$I_{РАБ.МАКС}$ – первичный максимальный рабочий ток в месте установки защиты.

Сторона ВН:

$$I_{CЗ} \geq \frac{K_{ОТС} \cdot K_{СЗП}}{K_B} \cdot I_{РАБ.МАКС} = \frac{1,2 \cdot 1}{0,95} \cdot 560,53 = 708 \text{ А}$$

Сторона СН:

$$I_{C3} \geq \frac{K_{отс} \cdot K_{сзп}}{K_B} \cdot I_{РАБ.МАКС} = \frac{1,2 \cdot 1}{0,95} \cdot 1255,11 = 1585,4 \text{ А}$$

Сторона НН:

$$I_{C3} \geq \frac{K_{отс} \cdot K_{сзп}}{K_B} \cdot I_{РАБ.МАКС} = \frac{1,2 \cdot 1}{0,95} \cdot 6560,8 = 8287,3 \text{ А}$$

Проверка коэффициента чувствительности производится при металлическом КЗ расчетного вида в расчетной точке в режиме, обуславливающим наименьшее значение этого тока, по выражению [5]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ,МИН}}}{I_{\text{с.з}}},$$

где $I_{\text{КЗ,МИН}}$ - первичное значение тока в месте установки защиты;

$I_{\text{с.з}}$ - принятое значение тока срабатывания ИО тока МТЗ.

Для защиты с комбинированным пуском по напряжению чувствительность определяется при замыкании между двумя фазами [6].

В режиме ближнего резервирования при КЗ на шинах (значения токов из расчетов ДТЗ):

Для стороны ВН:

$$K_{\text{ч}} = \frac{1135}{708} = 1,6 \geq 1,5.$$

Для стороны СН:

$$K_{\text{ч}} = \frac{2681}{1585,4} = 1,69 \geq 1,5.$$

Для стороны НН:

$$K_{\text{ч}} = \frac{30657}{8287,3} = 3,7 \geq 1,5.$$

Для МТЗ с пуском и без пуска по напряжению коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,5 при выполнении функций основной защиты, условие выполняется.

2.2.2 Расчет параметра срабатывания минимального ИО напряжения

Согласно [6], первичное напряжение срабатывания минимального ИО напряжения выбирают исходя из следующих условий:

1) обеспечение возврата реле после отключения внешнего КЗ:

$$U_{сз} \leq \frac{U_{мин}}{K_{отс} \cdot K_B},$$

где

$U_{мин}$ – междуфазное напряжение в месте установки защиты в условиях самозапуска после отключения внешнего КЗ. В предварительных расчетах, а также в случае отсутствия соответствующей информации значение может быть принято равным $(0,8 \div 0,9)U_{НОМ}$, где $U_{НОМ}$ – номинальное напряжение трансформатора с рассматриваемой стороны защищаемого трансформатора;

$K_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2;

K_B – коэффициент возврата реле минимального напряжения; принимается равным 1,05;

2) отстройка от напряжения самозапуска при включении от АПВ или АВР заторможенных двигателей нагрузки:

$$U_{сз} \leq \frac{U_{зАП}}{K_{отс}},$$

где

$U_{зАП}$ – первичное значение междуфазного напряжения в месте установки защиты в условиях самозапуска заторможенных двигателей нагрузки при включении их от АПВ или АВР. В предварительных расчетах, а также в случае отсутствия соответствующей информации значение может быть принято равным примерно $0,7U_{НОМ}$;

$K_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается из диапазона от 1,1 до 1,2.

$$1) \text{ Для стороны ВН: } U_{сз} \leq \frac{U_{мин}}{K_{отс} \cdot K_B} = \frac{0,85 \cdot 525}{1,2 \cdot 1,05} = 354,17 \text{ кВ};$$

$$\text{Для стороны СН: } U_{C3} \leq \frac{U_{\text{МИН}}}{K_{\text{ОТС}} \cdot K_B} = \frac{0,85 \cdot 121}{1,2 \cdot 1,05} = 155,16 \text{ кВ};$$

$$\text{Для стороны НН: } U_{C3} \leq \frac{U_{\text{МИН}}}{K_{\text{ОТС}} \cdot K_B} = \frac{0,85 \cdot 11}{1,2 \cdot 1,05} = 7,42 \text{ кВ}.$$

$$2) \text{ Для стороны ВН: } U_{C3} \leq \frac{U_{\text{ЗАП}}}{K_{\text{ОТС}}} = \frac{0,7 \cdot 525}{1,2} = 306,25 \text{ кВ};$$

$$\text{Для стороны СН: } U_{C3} \leq \frac{U_{\text{ЗАП}}}{K_{\text{ОТС}}} = \frac{0,7 \cdot 230}{1,2} = 134,17 \text{ кВ};$$

$$\text{Для стороны НН: } U_{C3} \leq \frac{U_{\text{ЗАП}}}{K_{\text{ОТС}}} = \frac{0,7 \cdot 11}{1,2} = 6,4 \text{ кВ}$$

Напряжение срабатывания принимается равным наименьшему значению из полученных. Согласно [6], принимаем:

$$\text{Для стороны ВН: } U_{C3, \text{ВН}} = 306,25 \text{ кВ}.$$

$$\text{Для стороны СН: } U_{C3, \text{ВН}} = 134,17 \text{ кВ}.$$

$$\text{Для стороны НН: } U_{C3, \text{НН}} = 6,4 \text{ кВ}.$$

Чувствительность минимального ИО напряжения проверяют по выражению:

$$K_{\text{Ч}} = \frac{U_{C3}}{U_{\text{КЗ.МАКС}}},$$

где U_{C3} - принятое значение параметра срабатывания минимального ИО напряжения;

$U_{\text{КЗ.МАКС}}$ - значение междуфазного напряжения, в месте установки ТН при металлическом КЗ между фазами в расчетной точке в режиме, обуславливающем наибольшее значение этого напряжения.

2.2.3 Расчет параметра срабатывания измерительного органа напряжения обратной последовательности

Параметр срабатывания ИО напряжения обратной последовательности должен быть отстроен от напряжения небаланса, обусловленного несимметрией фазных напряжений в нормальном рабочем режиме,

$$U_{2,C3} = (0,06 \div 0,10)U_{НОМ},$$

где $U_{НОМ}$ - номинальное напряжение защищаемого трансформатора.

По данным экспериментов и опыта эксплуатации при таком напряжении срабатывания обеспечивается отстройка от напряжения небаланса в расчетном (нагрузочном) режиме.

Для стороны ВН:

$$U_{2,C3,ВН} = 0,06 \cdot 525 = 31,5 \text{ кВ}.$$

Для стороны СН:

$$U_{2,C3,СН} = 0,06 \cdot 230 = 13,8 \text{ кВ}.$$

Для стороны НН:

$$U_{2,C3,НН} = 0,06 \cdot 11 = 0,66 \text{ кВ}.$$

Чувствительность данного ИО проверяют по выражению:

$$K_{\text{ч}} = \frac{U_{2,КЗ.МИН}}{U_{2,C3}},$$

где $U_{2,КЗ.МИН}$ - значение междуфазного напряжения обратной последовательности, в месте установки ТН при металлическом междуфазном КЗ в расчетной точке в режиме, обуславливающем наименьшее значение этого напряжения;

$U_{2,C3}$ - принятое значение параметра срабатывания ИО напряжения обратной последовательности.

В режиме ближнего резервирования при двухфазном КЗ на шинах:

```

===== АРМ СРЗА г.Новосибирск ПК БРИЗ =====
ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-ENES_Tomskoy_oblasti ДАТА-06.12.2019. ВРЕМЯ-18:31:19. #1
**** П О В Р Е Ж Д Е Н И Я ****
101 2-двухфазное КЗ (BC)
**** К О М М У Т А Ц И И ****
105-101 Отключение и заземление с двух сторон
105-104 Отключение и заземление с двух сторон
105-96 Отключение и заземление с двух сторон
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА
-----
Суммарные величины в узле КЗ:
Упа=526.4/-1 Z1=4.613+j23.282 Z2=4.617+j23.279 Z0=6.163+j61.474
I1сум 6386 101 I2сум 6386 -79 3I0сум 0 0
IAсум 0 0 IBсум 11061 11 ICсум 11061 -169
IABсум 11061 -169 IBCсум 22123 11 ICAсум 11061 -169
-----
103-101 IA 229 138 IB 631 179 IC 1135 -12
I1 363 -112 I2 491 94 3I0 1 0
UA 278.20 -7 UB 188.51 -145 UC 185.84 131
U1 211.44 -7 U2 66.71 -6 3U0 0.20 16

===== АРМ СРЗА г.Новосибирск ПК БРИЗ =====
ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-ENES_Tomskoy_oblasti ДАТА-06.12.2019. ВРЕМЯ-18:43:47. #5
**** П О В Р Е Ж Д Е Н И Я ****
96 2-двухфазное КЗ (BC)
**** К О М М У Т А Ц И И ****
105-101 Отключение и заземление с двух сторон
105-104 Отключение и заземление с двух сторон
105-96 Отключение и заземление с двух сторон
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА
-----
Суммарные величины в узле КЗ:
Упа=231.3/-7 Z1=2.665+j16.766 Z2=2.760+j16.741 Z0=0.949+j10.498
I1сум 3888 91 I2сум 3888 -89 3I0сум 0 0
IAсум 0 0 IBсум 6735 1 ICсум 6735 -179
IABсум 6735 -179 IBCсум 13469 1 ICAсум 6735 -179
-----
96-103 IA 458 138 IB 2681 -1 IC 2351 -174
I1 1618 98 I2 1300 -95 3I0 3 -64
UA 131.14 -8 UB 65.52 172 UC 65.52 172
U1 65.55 -8 U2 65.55 -8 3U0 0.11 23

===== АРМ СРЗА г.Новосибирск ПК БРИЗ =====
ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-ENES_Tomskoy_oblasti ДАТА-06.12.2019. ВРЕМЯ-18:38:15. #4
**** П О В Р Е Ж Д Е Н И Я ****
104 2-двухфазное КЗ (BC)
**** К О М М У Т А Ц И И ****
105-101 Отключение и заземление с двух сторон
105-104 Отключение и заземление с двух сторон
105-96 Отключение и заземление с двух сторон
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА
-----
Суммарные величины в узле КЗ:
Упа=10.0/-7 Z1=0.008+j0.161 Z2=0.009+j0.161 Z0=0.000-j-0.000
I1сум 17573 85 I2сум 17573 -95 3I0сум 0 0
IAсум 0 0 IBсум 30437 -5 ICсум 30437 175
IABсум 30437 175 IBCсум 60875 -5 ICAсум 30437 175
-----
104-103 IA 496 150 IB 30657 -5 IC 30218 175
I1 17673 86 I2 17476 -96 3I0 32 106
UA 5.68 -7 UB 2.84 173 UC 2.84 173
U1 2.84 -7 U2 2.84 -7 3U0 0.00 0

```

Рисунок 2.7 – Расчет АРМ СРЗА 2-х фазного КЗ на шинах ВН, СН, НН АТ.

Для стороны ВН:

$$K_{\eta} = \frac{66.7}{31.5} = 2.18 \geq 1.5$$

Для стороны СН:

$$K_{\eta} = \frac{65.5}{13.8} = 4.75 \geq 1.5.$$

Для стороны НН:

$$K_{\eta} = \frac{3.10}{0.66} = 4.7 \geq 1.5.$$

Выдержка времени выбирается по условиям согласования с последними, наиболее чувствительными ступенями защит от многофазных КЗ предыдущих элементов (максимальной токовой с пуском по напряжению или без пуска, дистанционной защиты). Расчет может быть выполнен по выражению:

$$t_{CЗ} = t_{CЗ,CM} + \Delta t,$$

где $t_{CЗ,CM}$ - время срабатывания наиболее чувствительных ступеней смежных защит, с которыми производится согласование;

Δt - степень селективности, может быть принята $(0.4 \div 0.5)с$; по рекомендациям [6], при согласовании цифровых реле и применении вакуумных или элегазовых выключателей с полным временем отключения $(0.04 \div 0.05)$ секунд можно принимать степень селективности в диапазоне от 0.15 до 0.20 с.

2.3 Токовая направленная защита нулевой последовательности

2.3.1 Расчет установок ТНЗНП стороны среднего напряжения автотрансформатора

Так как у нас АТ, то защита будет ступенчатой. Первичный ток срабатывания ТЗНП выбирается исходя из условий:

- согласование по чувствительности с наиболее чувствительными ступенями защит от замыканий на землю смежных линий по выражению:

$$I_{CЗ} \geq K_{отс} \cdot K_{ток} \cdot I_{0,CЗ,CM},$$

где $K_{отс}$ - коэффициент отстройки, принимаемый равным 1.1;

$K_{ТОК}$ - коэффициент токораспределения для токов нулевой последовательности, равный отношению тока в месте установки рассматриваемой защиты к току в смежной линии, с защитой которой производится согласование (равен 1, т.к. АРМ СРЗА сразу учитывает это в расчетах);

$I_{0,СЗ,СМ}$ - первичный ток срабатывания первой ступени защиты от замыканий на землю смежной линии, с которой производится согласование.

Для того чтобы рассчитать уставки ТЗНП АТ, следует посчитать уставки смежных линий с АТ. Из рассчитанных уставок выбирается большая и согласуется. Для первой ступени проведем отстройку от КЗ на шинах СН АТ:

Дата формирования документа для Word: 13.12.2019 17:48:54

ЭЛ	ПС	ТОМСКАЯ-220
Защита 2053	Тип ТЗНП	Ступень 1
Ветвь 96-103	КТТ	
Узел	КТН	

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	2700	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 96		3I0=2454 90 3U0=99.68 177
	УСТ	3120	1.10	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 96		3I0=2836 -92 3U0=115.18 -4

Соответственно, принимаем:

$$I_{сз_СН}^{II} = 3120 \text{ А.}$$

Проведем расчеты смежных линий:

Дата формирования документа для Word: 13.12.2019 16:27:33

ЭЛ Т-210	ПС	ТОМСКАЯ-220
Защита 2161	Тип ТЗНП	Ступень 1
Ветвь 96-106	КТТ	
Узел	КТН	

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	2287	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 106		3I0=2079 -88 3U0=48.13 -179
	УСТ	2475	1.10	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 106		3I0=2250 90 3U0=52.08 -1

Дата формирования документа для Word: 13.12.2019 16:33:52

ЭЛ Т-213

ПС ТОМСКАЯ-220

Защита 2031

Тип ТЗНП

Степень 1

Ветвь 96-156

КТТ

Узел

КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	1995	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 156		3I0=1814 -85 3U0=48.94 -179
	УСТ	2207	1.10	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 156		3I0=2006 93 3U0=54.13 -1

Дата формирования документа для Word: 13.12.2019 17:01:40

ЭЛ Т-205

ПС ПС ТОМСКАЯ-220

Защита 2021

Тип ТЗНП

Степень 1

Ветвь 96-114

КТТ

Узел

КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	1390	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 114		3I0=1264 -69 3U0=43.57 -176
	УСТ	1490	1.10	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 114		3I0=1355 109 3U0=46.70 2

Дата формирования документа для Word: 13.12.2019 17:06:52

ЭЛ Т-203

ПС ТОМСКАЯ-220

Защита 2001

Тип ТЗНП

Степень 1

Ветвь 96-153

КТТ

Узел

КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	301	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 114		3I0=274 -98 3U0=43.57 -176

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
	УСТ	323	1.10	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 114		3I0=293 80 3U0=46.70 2
ОТСТРОЙКА	УСТ	1655	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 153	ЗЕМЛ 1 96-153	3I0=1505 -87 3U0=33.98 -178
	УСТ	1929	1.10	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 153	ЗЕМЛ 1 96-153	3I0=1754 90 3U0=39.60 -0

Дата формирования документа для Word: 13.12.2019 16:38:26

ЭЛ Т-218

ПС ТОМСКАЯ-220

Защита 1991

Тип ТЗНП

Степень 1

Ветвь 96-87

КТТ

Узел

КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	1779	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 87		3I0=1618 -84 3U0=15.40 -178
	УСТ	1529	1.10	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 87		3I0=1390 94 3U0=13.23 -0

Дата формирования документа для Word: 13.12.2019 17:09:05

ЭЛ ТВ-231_1

ПС ТОМСКАЯ-220

Защита 1761

Тип ТЗНП

Степень 1

Ветвь 96-84

КТТ

Узел

КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	1605	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 84		3I0=1459 -59 3U0=26.60 -153
	УСТ	1241	1.10	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 84		3I0=1129 127 3U0=20.57 33
ОТСТРОЙКА	УСТ	1725	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЗЕМЛ 1 84-96	3I0=1568 -53 3U0=14.41 -148
	УСТ	1307	1.10	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЗЕМЛ 1 84-96	3I0=1188 131 3U0=10.92 36

Результаты расчетов сводим в таблицу, в которой указаны значения тока срабатывания первых ступеней отходящих линий от ПС Томская-500

Таблица 2.2 – Токи срабатывания первых ступеней ТЗНП смежных линий

№ ветви	№ элемента	Значение тока срабатывания
		$I_{сз}, A$
96-106	216	2475
96-156	203	2207
96-114	202	1490
96-153	200	1926
96-87	199	1779
96-84	176	1725

По таблице видно, что наибольший ток КЗ имеет ветвь №216. Теперь согласуем защиту АТ и линии:

Дата формирования документа для Word: 13.12.2019 17:27:18

ЭЛ

ПС ТОМСКАЯ-220

Защита 2053

Тип ТЗНП

Ступень 2

Ветвь 96-103

КТТ

Узел

КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 1 СТУПЕНЬЮ 2475 T=0.00 защита 2161 ТЗНП (96-106) ЭЛ:Т-210 ПС:ТОМСКАЯ-220	УСТ	1624	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 216/96 106-96,0.193 (Лотн_лин=0.807)	ЗЕМЛ 0 96-105 ЗЕМЛ 0 104-105 ЗЕМЛ 0 105-101	3I0=1477 91 3U0=52.31 178 3I0 (В)=2474 -89 3U0 (В)=52.31 178

$$I_{сз_CH}^{II} = 1624 A.$$

Ток срабатывания третьей ступени выбирается по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности при КЗ между тремя фазами на стороне низшего напряжения рассматриваемого автотрансформатора.

$$I_{сз} \geq K_{отс} I_{0,НБ},$$

где $K_{отс}$ - коэффициент отстройки, принимаемый равным 1,2;

$I_{0,НБ}$ - ток небаланса нулевой последовательности в установившемся режиме при рассматриваемом внешнем КЗ между тремя фазами и рассчитываемый по выражению:

$$I_{0,НБ} = K_{НБ} I_{расч,уст,кз},$$

где $K_{НБ}$ - коэффициент небаланса, который в зависимости от кратности, тока принимается равным 0,05, если кратность не более (2 - 3) по отношению к первичному току трансформаторов тока; из диапазона от 0,05 до 0,10 при больших кратностях, но не превышающих (0,7 - 0,8) по отношению к предельной кратности первичного тока трансформаторов тока;

Проведем замеры с помощью АРМ СРЗА.

```

===== АРМ СРЗА г.Новосибирск ПК БРИЗ =====
ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-ENES_Tomskoy_oblasti ДАТА-13.12.2019. ВРЕМЯ-18:15:13. #1
**** П О В Р Е Ж Д Е Н И Я ****
104 3-трехфазное КЗ (ABC)
**** К О М М У Т А Ц И И ****
105-104 Отключение и заземление с двух сторон
105-96 Отключение и заземление с двух сторон
105-101 Отключение и заземление с двух сторон
Р Е З У Л Ь Т А Т Ы Р А С Ч Е Т А
-----
Суммарные величины в узле КЗ:
Uпа=10.0/-7 Z1=0.008+j0.161 Z2=0.009+j0.161 Z0=0.000-j-0.000
I1сум 35174 85 I2сум 167 166 3I0сум 0 0
IAсум 35202 86 IBсум 35303 -35 ICсум 35018 -155
IABсум 61195 116 IBCсум 60876 -5 ICАсум 60701 -124
-----
96-103 IA 690 -121 IB 712 117 IC 683 -4
I1 695 -123 I2 18 -14 3I0 3 -75
UA 108.30 -6 UB 108.61 -127 UC 107.61 113
U1 108.17 -6 U2 0.60 75 3U0 0.10 12
103-101 IA 455 105 IB 455 -14 IC 463 -135
I1 458 105 I2 5 -13 3I0 1 0
UA 220.56 -5 UB 221.08 -126 UC 219.33 114
U1 220.32 -5 U2 1.05 75 3U0 0.19 12

```

Отстройка III степени от наибольшего тока нулевой последовательности при трехфазном КЗ на шинах НН:

Дата формирования документа для Word: 13.12.2019 18:24:44

ЭЛ		ПС	ТОМСКАЯ-220
Защита	2053	Тип	ТЗНП
Ветвь	96-103	Степень	3
Узел		КТТ	
		КТН	

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
НАГРУЗКА	УСТ	50			КН=1.20 КВ=0.85	

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
					КВРТ=0.85 КНБ=0.05 JH=712	

$$I_{сз_CH}^{III} = 50 \text{ А.}$$

2.3.1.1 Проверка чувствительности ступеней защиты АТ для СН

Чувствительность первой и второй ступеней проверяется при замыкании на землю на шинах рассматриваемой подстанции, третья ступень проверяется по току замыкания на землю в конце смежных линий.

Первая ступень

Дата формирования документа для Word: 13.12.2019 18:32:29

ЭЛ

ПС ТОМСКАЯ-220

Защита 2053

Тип ТЗНП

Ступень 1

Ветвь 96-103

КТТ

Узел

КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	3120	2.92	ВИД-КЗ А0 96-103,0.000		3I0=9096 -87 3U0=99.68 177
	УСТ	3120	3.37	ВИД-КЗ АВ0 96-103,0.000		3I0=10510 -149 3U0=115.18 116

$$K_{ч_CH}^I = 2.9$$

Вторая ступень

Дата формирования документа для Word: 13.12.2019 18:36:34

ЭЛ

ПС ТОМСКАЯ-220

Защита 2053

Тип ТЗНП

Ступень 2

Ветвь 96-103

КТТ

Узел

КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	1624	5.60	ВИД-КЗ А0 96-103,0.000		3I0=9096 -87 3U0=99.68 177
	УСТ	1624	6.47	ВИД-КЗ АВ0 96-103,0.000		3I0=10510 -149 3U0=115.18 116

$$K_{\text{Ч}_\text{СН}}^{\text{II}} = 5.6$$

Третья ступень

Дата формирования документа для Word: 13.12.2019 18:39:36

ЭЛ

ПС ТОМСКАЯ-220

Защита 2053

Тип ТЗНП

Ступень 3

Ветвь 96-103

КТТ

Узел

КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	50	9.70	ВИД-КЗ А0 96-106,1.000		3I0=485 93 3U0=48.13 -179
	УСТ	50	11.64	ВИД-КЗ АВ0 96-106,1.000		3I0=582 31 3U0=52.08 119

$$K_{\text{Ч}_\text{СН}}^{\text{III}} = 9.7$$

Все ступени удовлетворяют требуемым коэффициентам чувствительности. Далее проведем расчеты для высшей стороны АТ.

2.3.2 Расчет уставок ТНЗНП стороны высшего напряжения автотрансформатора

Высшая сторона АТ имеет всего одну отходящую линию, проведем аналогичные расчеты. Рассчитываем ток срабатывания первой ступени:

Дата формирования документа для Word: 13.12.2019 19:03:47

ЭЛ

ПС ТОМСКАЯ-500

Защита 2051

Тип ТЗНП

Ступень 1

Ветвь 101-103

КТТ

Узел

КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	2531	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 101	ЗЕМЛ 0 101-105 ЗЕМЛ 0 105-104 ЗЕМЛ 0 96-105	3I0=2301 94 3U0=516.12 -178
	УСТ	1876	1.10	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 101	ЗЕМЛ 0 101-105 ЗЕМЛ 0 105-104 ЗЕМЛ 0 96-105	3I0=1706 -88 3U0=382.60 0

$$I_{сз_ВН}^I = 2531 \text{ А.}$$

Рассчитаем первую ступень отходящей линии:

Дата формирования документа для Word: 13.12.2019 19:05:13

ЭЛ ВЛ-526

ПС ТОМСКАЯ-500

Защита 2091

Тип ТЗНП

Ступень 1

Ветвь 101-99

КТТ

Узел

КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	978	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 99	ЗЕМЛ 0 101-105 ЗЕМЛ 0 105-104 ЗЕМЛ 0 96-105 ЗЕМЛ 1 101-99	3I0=889 -83 3U0=172.93 -175
	УСТ	700	1.10	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 99	ЗЕМЛ 0 101-105 ЗЕМЛ 0 105-104 ЗЕМЛ 0 96-105 ЗЕМЛ 1 101-99	3I0=636 97 3U0=123.66 5

Дата формирования документа для Word: 13.12.2019 19:06:46

ЭЛ ВЛ-527

ПС ТОМСКАЯ-500

Защита 2101

Тип ТЗНП

Ступень 1

Ветвь 1 101-99

КТТ

Узел

КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	2063	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 99	ЗЕМЛ 0 101-105 ЗЕМЛ 0 105-104 ЗЕМЛ 0 96-105 ЗЕМЛ 0 101-99	3I0=1876 -86 3U0=359.84 -178

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
	УСТ	1477	1.10	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 99	ЗЕМЛ 0 101-105 ЗЕМЛ 0 105-104 ЗЕМЛ 0 96-105 ЗЕМЛ 0 101-99	3I0=1343 94 3U0=257.62 2

Теперь согласуем защиты:

Дата формирования документа для Word: 13.12.2019 19:09:36

ЭЛ ПС ТОМСКАЯ-500
 Защита 2051 Тип ТЗНП Ступень 2
 Ветвь 101-103 КТТ
 Узел КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 1 СТУПЕНЬЮ 978 T=0.00 защита 2091 ТЗНП (101-99) ЭЛ:ВЛ-526 ПС:ТОМСКАЯ-50 0	УСТ	910	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 209/101 99-101,0.074 (Логн_лин=0.926)	ЗЕМЛ 0 101-105 ЗЕМЛ 0 105-104 ЗЕМЛ 0 105-96 ЗЕМЛ 1 101-99	3I0=827 98 3U0=185.90 -173 3I0(Б)=979 -82 3U0(Б)=185.90 - 173

Дата формирования документа для Word: 13.12.2019 19:11:37

ЭЛ ПС ТОМСКАЯ-500
 Защита 2051 Тип ТЗНП Ступень 2
 Ветвь 101-103 КТТ
 Узел КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 1 СТУПЕНЬЮ 2063 T=0.00 защита 2101 ТЗНП	УСТ	1918	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 210/101 1 99-101,0.172 (Логн_лин=0.828)	ЗЕМЛ 0 101-105 ЗЕМЛ 0 105-104 ЗЕМЛ 0 105-96 ЗЕМЛ 0 101-99	3I0=1744 95 3U0=391.73 -177

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
(1 101-99) ЭЛ:ВЛ-527 ПС:ТОМСКАЯ-500						3I0 (В)=206 3 -85 3U0 (В)=391 .73 -177

Следовательно, ток срабатывания второй ступени ТЗНП:

$$I_{сз_ВН}^{II} = 1918 \text{ А.}$$

Рассчитаем третью ступень от наибольшего тока небаланса нулевой последовательности при трехфазном КЗ на шинах НН. Ток нагрузки берем из замеров проведенных ранее для стороны СН.

Дата формирования документа для Word: 13.12.2019 19:15:37

ЭЛ ПС ТОМСКАЯ-500
Защита 2051 Тип ТЗНП Ступень 3
Ветвь 101-103 КТТ
Узел КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
НАГРУЗКА	УСТ	33			КН=1.20 КВ=0.85 КВРТ=0.85 КНБ=0.05 JH=463	

$$I_{сз_ВН}^{III} = 33 \text{ А.}$$

2.3.2.1 Проверка чувствительности ступеней защиты АТ для ВН

Первая ступень

Дата формирования документа для Word: 13.12.2019 19:45:06

ЭЛ ПС ТОМСКАЯ-500
Защита 2051 Тип ТЗНП Ступень 1
Ветвь 101-103 КТТ
Узел КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВЫ-НОСТЬ	УСТ	2531	1.64	ВИД-КЗ А0 1 101-99,0.000		3I0=4150 94 3U0=480.33 -178
	УСТ	2531	1.6	ВИД-КЗ АВ0 1 101-99,0.000		3I0=4050 32 3U0=371.23 120

$$K_{\text{Ч}_\text{ВН}}^I = 1.6$$

Вторая ступень

Дата формирования документа для Word: 13.12.2019 19:48:23

ЭЛ

ПС ТОМСКАЯ-500

Защита 2051

Тип ТЗНП

Ступень 2

Ветвь 101-103

КТТ

Узел

КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВЫ-НОСТЬ	УСТ	1918	2.16	ВИД-КЗ А0 1 101-99,0.000		3I0=4150 94 3U0=480.33 -178
	УСТ	1918	2.11	ВИД-КЗ АВ0 1 101-99,0.000		3I0=4050 32 3U0=371.23 120

$$K_{\text{Ч}_\text{ВН}}^{II} = 2.11$$

Дата формирования документа для Word: 13.12.2019 19:52:20

ЭЛ

ПС ТОМСКАЯ-500

Защита 2051

Тип ТЗНП

Ступень 3

Ветвь 101-103

КТТ

Узел

КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВЫ-НОСТЬ	УСТ	33	37.82	ВИД-КЗ А0 1 101-99,1.000		3I0=1248 94 3U0=326.95 -178
	УСТ	33	27.10	ВИД-КЗ АВ0 1 101-99,1.000		3I0=894 34 3U0=234.27 122

$$K_{\text{Ч_ВН}}^{\text{III}} = 27.1$$

Сведем данные в таблицу.

Таблица 2.3 – Обобщенные данные по ТЗНП

Сторона/Степень защиты	Уставка, А	Чувствительность
СН/1 степень	3120	2.9
СН/2 степень	1624	5.6
СН/3 степень	50	9.7
ВН/1 степень	2531	1.6
ВН/2 степень	1918	2.11
ВН/3 степень	33	27.1

2.4 Защита от перегрузки

Для защиты автотрансформатора от длительных перегрузок, вызванных, например, автоматическим подключением нагрузки от АВР, отключением параллельно работающего автотрансформатора, предусматривается защита от перегрузки. На автотрансформаторах защита от перегрузки устанавливается на стороне ВН, на стороне НН. Защита от перегрузки срабатывает в случае превышения фазным током (фазы А) заданного тока срабатывания $I_{с.з}$ с выдержкой времени $t_{с.з}$ и действует на сигнал. Расчет параметров срабатывания производится одинаково для всех сторон.

Первичный ток срабатывания ИО максимального фазного тока отстраивают от номинального тока обмотки защищаемого автотрансформатора:

$$I_{\text{ЗП.СТ}} = \frac{I_{\text{НОМ.СТ}}}{K_{\text{ТТ.СТ}}} \cdot \frac{K_{\text{ОТС}}}{K_B},$$

где $K_{\text{ОТС}}$ – коэффициент отстройки ЗП, который принимается 1,05;

K_B – коэффициент возврата, который принимается 0,9;

$I_{\text{НОМ.ВН}}$ – первичный номинальный ток стороны автотрансформатора, где установлена защита;

$K_{ТТ.ВН}$ – коэффициент трансформации ТТ соответствующей стороны АТ.

$$I_{3П.ВН} = \frac{I_{НОМ.ВН}}{K_{ТТ.ВН}} \cdot \frac{K_{ОТС}}{K_B} = \frac{560,53}{1000 / 5} \cdot \frac{1,05}{0,9} = 3,27$$

$$I_{3П.НН} = \frac{I_{НОМ.НН}}{K_{ТТ.НН}} \cdot \frac{K_{ОТС}}{K_B} = \frac{6560,8}{8000 / 5} \cdot \frac{1,05}{0,9} = 4,78$$

Время срабатывания защиты необходимо отстраивать от режимов кратковременных перегрузок и можно принимать без расчета из диапазона от 9 до 10с.

2.5 Газовая защита

Газовая защита является основной чувствительной защитой от замыканий внутренних замыканий защищаемого автотрансформатора, которые сопровождаются выделением газа, а также при резком понижении уровня масла. При замыканиях внутри кожуха автотрансформатора, обмотки нагреваются, и масло, под действием данного тепла, начинает разлагаться. Это разложение сопровождается выделением газа, и чем выше температура нагрева (чем тяжелее повреждение), тем больше газа выделяется. Реле защиты выполняется в виде металлического корпуса, который устанавливается между баком и расширителем в баке автотрансформатора. Внутри корпуса реле устанавливают поплавковые контакты, которые при появлении газа замыкают свои контакты. Газовая защита является простой в исполнении, чувствительной, быстродействующей при больших повреждениях реализацией РЗ. В зависимости от степени повреждения, подается действие на сигнал или отключение. Требования к микропроцессорным устройствам таковы, что они должны обеспечивать отключение и/или действие на сигнализацию от газовых защит защищаемого силового оборудования, а также от технологических защит АТ. Также микропроцессорные устройства должны обеспечивать прием сигналов от различных датчиков, таких, как повышения температуры масла, повышения и понижения уровня масла, неисправности цепей охлаждения.

В шкафах защиты обеспечивается прием сигналов от:

- сигнальной и отключающей ступеней газовой защиты трансформатора (ГЗТ);
- газовой защиты устройства РПН трансформатора (ГЗ РПН).

2.6 Функция пуска автоматики пожаротушения

При срабатывании ДТЗ АТ, отключающих ступеней газовой защиты АТ или газовой защиты РПН АТ обеспечивается пофазный пуск пожаротушения с ограничением импульса действия до 1 секунды.

Напряжение срабатывания минимального реле напряжения выбирается из условия несрабатывания при минимальном рабочем напряжении с коэффициентом запаса 0,9.

Время продления импульса для пуска автоматики пожаротушения (АППож) определяет время достаточное для подхвата «Пуска пожаротушения» цепями АППож. Рекомендуемое значение 1с.

Время ограничения импульса АППож предназначена для селективного действия автоматики пожаротушения и подготовки для повторного пуска. Рекомендуемое значение 1,1 с.

Время срабатывания деблокировки пожаротушения предназначена для автоматического деблокирования пожаротушения и подготовки к повторному (например, к «ручному») пуску. Рекомендуемое значение 2с.

3. Финансовый менеджмент и ресурсоэффективность

**«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ,
РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3 - 5A5A1	Кадиралиев Фахриддин Комилжон угли

Школа	ИШЭ	Отделена школы (НОЦ)	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и Электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Капитальные вложения в проект: 435 000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	30 % доп. заработная плата 16% накладные расходы 1,3 районный коэффициент
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	30,2 отчисления на социальные нужды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентоспособности технического решения с позиции ресурсоэффективности (SWOT – анализ)
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки : - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	- Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. - Интегральный показатель эффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. Альтернативы проведения НИ 4. График проведения и бюджет НИ

Задание выдал консультант:

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику				
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина Вероника Анатольевна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5A5A1	Кадиралиев Фахриддин Комилжон угли		

3. «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

3.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Целью данного раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Основным рассматриваемым объектом релейной защиты и автоматики подстанции «Восточная» Томской ЭЭС будет являться релейная защита автотрансформаторной группы «АТГ – 167 МВт», отходящих от РУ 500 кВ.

Защита автотрансформатора «АТГ – 167 МВт», выполнена на микропроцессорном устройстве ШЭ2710, данный вид защиты автотрансформатора принадлежит компании ООО НПП «ЭКРА». Также защита автотрансформатора может быть выполнена и на аналоговом оборудовании.

В связи с этим необходимо провести экспертную оценку и убедиться в том, что микропроцессорное устройство ШЭ2710 является лидером перед ранее действующими релейными защитами.

3.2. Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Данный анализ произведём с помощью оценочной карты (таблица 1).

Экспертная оценка будет происходить по следующим техническим и экономическим критериям:

RET 541 – нет – 0 б.

MiCOM Alstom P63* – да – 5б.

1) Помехоустойчивость. Есть – 5 баллов; Нет – 0 баллов.

ШЭ2710 – есть – 5 б.

RET 541 – есть – 5 б.

MiCOM Alstom P63* – есть – 5б.

2) Надежность – заключается в быстровременном отключении короткого замыкания и резервирование специальными защитами, для сохранения оборудования. 2 и более защит – 5 баллов; 1 и менее – 3 балла.

ШЭ2710 – быстровременное отключение, 2 резервных защиты – 5 б.

RET 541 – быстровременное отключение, 1 резервная защита – 3 б.

MiCOM Alstom P63*– быстровременное отключение, 2 резервных защиты – 5 б.

3) Уровень шума – шум, появляющийся при работе шкафов. Есть – 0 баллов; Нет – 5 баллов.

ШЭ2710 – есть – 0 б.

RET 541 – есть – 0 б.

MiCOM Alstom P63* - есть – 0 б.

4) Безопасность – заключается в заземление и отсутствии оголённых, токопроводимых частей. Есть – 5 баллов; Нет – 0 баллов.

ШЭ2710 – есть – 5 б.

RET 541 – есть – 3 б.

MiCOM Alstom P63* – есть – 4 б.

5) Функциональная мощность – количество защит, предоставляемых шкафом. 5 защит – 5 баллов; 4 защиты – 3 баллов.

ШЭ2710 – 4 защит – 3 б.

RET 541 – 5 защит – 5 б.

MiCOM Alstom P63* – 4 защит – 3 б.

6) Качество интеллектуального интерфейса – наличие пульта управления на лицевой панели и его простота. Есть – 5 баллов; Малая функциональность (недочёты) – 3 балла; Нет – 0 баллов.

ШЭ2710 – есть – 5 б.

RET 541 – недочёты – 3 б.

MiCOM Alstom P63* – отсутствие пульта (нет) – 0 б.

7) Возможность подключения к ПК. Имеется – 5 баллов; Не имеется – 0 баллов.

ШЭ2710 – имеется – 5 б.

RET 541 – имеется – 5 б.

MiCOM Alstom P63* – имеется – 5 б.

- Экономические

1) Конкурентоспособность продукта – основывается на наличии похожих шкафов релейной защиты. Есть – 5 баллов; Нет – 2,5 баллов.

ШЭ2710 – есть – 5 б.

RET 541 – нет – 2,5 б.

MiCOM Alstom P63* – нет – 2,5 б.

2) Цена: 300 000 руб. – 5 баллов

ШЭ2710 – 944 000 руб. – 2 б.

RET 541 – 300 000 руб. – 5 б.

MiCOM Alstom P63* – 500 000 руб. – 4 б.

3) Предполагаемый срок эксплуатации. 25 лет - 5 баллов.

ШЭ2710 – 25 лет – 5 б.

RET 541 – 20 лет – 3,5 б.

MiCOM Alstom P63* – 20 лет – 3,5 б.

4) Наличие сертификации разработки. Есть – 5 баллов; Нет – 0 баллов.

ШЭ2710 – есть – 5 б.

RET 541 – есть – 5 б.

MiCOM Alstom P63* – есть – 5 б.

Таблица 10 – Оценочная карта конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		ШЭ2710	RET 541	MiCOM Alstom P63*	ШЭ2710	RET 541	MiCOM Alstom P63*
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации	0,07	5	0	5	0,35	0	0,35
2. Помехоустойчивость	0,12	5	5	5	0,6	0,6	0,6
3. Надежность	0,09	5	3	5	0,45	0,27	0,45
4. Уровень шума	0	0	0	0	0	0	0
5. Безопасность	0,09	5	3	4	0,45	0,27	0,36
6. Функциональная мощность	0,085	3	5	3	0,255	0,425	0,255
7. Качество интеллектуального интерфейса	0,058	5	3	0	0,29	0,174	0
8. Возможность подключения к ПК	0,12	5	5	5	0,6	0,6	0,6
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,074	5	2,5	2,5	0,37	0,185	0,185
2. Цена	0,087	2	5	4	0,174	0,435	0,348
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,09	5	3,5	3,5	0,45	0,315	0,315
4. Наличие сертификации разработки	0,12	5	5	5	0,6	0,6	0,6
Итого	1	50	40	41,9	4,589	3,874	4,063

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i = 0,07 \cdot 5 = 0,35$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

Б_i – балл i -го показателя.

В ходе проведения данного анализа было выявлено превосходство шкафов типа ШЭ2710 производителя ООО НПП «ЭКРА» над своими конкурентами. Наиболее выгодно и эффективно при проектировании защиты будет использование шкафов данного типа.

3.3.SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

1) **Сильные стороны.** Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта.

2) **Слабые стороны.** Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей

3) **Возможности.** Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта.

4) **Угроза** представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер.

Результаты SWOT-анализа представляем в табличной форме.

Таблица 11 – Матрица SWOT – анализа

<div>Внутренние факторы</div> <div>Внешние факторы</div>	Сильные стороны: С1. Легкость в обслуживании и простота в эксплуатации; С2. Обеспечение мгновенного срабатывания на аварийные режимы; С3. Высокий срок службы шкафа; С4. Повышенный функционал.	Слабые стороны: Сл1. ШЭ2710 обладает высокой стоимостью; Сл2. Требуется дополнительный опыт работы и знания по эксплуатации данного шкафа; Сл3. Сложность подключения в сеть; Сл4. Требуется доп. оборудование (вторич. цепи постоянного тока)
Возможности: В1. Использование новых технологий, шкафа ШЭ2710, энергетическими комплексами; В2. Модернизация существующих оборудования на энергетических объектах и использование данного шкафа, как основную релейную защиту; В3. Развитие программных обеспечений для удобства пользования шкафом ШЭ2710; В4. Повышение спроса на данное оборудование	1. Благодаря своей простоте шкаф ШЭ2710 можно использовать везде на станциях обладающих энерг. оборудованием, это приведёт к высокому спросу из-за лёгкости в обслуживании и простоте в эксплуатации; 2. Высокий срок службы шкафов способствует развитию программных обеспечений для пользования шкафом, а также даёт повод руководству задуматься о замене существующего оборудования, на более новое (ШЭ2710)	1. Высокая стоимость оборудования может привести к отказу финансирования со стороны инвесторов, а это обязательно повлияет на отрицательно. 2. Для обеспечения безопасности работы со шкафом требуется допуск персонала к устройству, чтобы обеспечить сохранность оборудования.
Угрозы: У1. Спад спроса на будущие технологии новейшего образца; У2. Появление более новых конкурентно-замещающих разработок и аналоговых продуктов; У3. Сворачивание производства шкафов данного типа, из-за негативной экономической ситуации в стране; У4. Прекращение поступления финансов для апгрейдинга (усовершенствования) шкафов ШЭ2710.	1. Из-за мгновенного срабатывания на аварийные режимы, данный шкаф, обеспечит свою востребованность, и затмит аналоговых производителей; 2. Обладая высоким сроком службы и высокой чувствительностью к авариям, шкафу будут поступать средства для изучения и усовершенствования данного оборудования.	1. Из-за сложности подключения шкафа ШЭ2710 в сеть, возможно снижение спроса, и обеспечит сворачивание производства шкафов данного типа; 2. В виду того, что шкафы ШЭ2710 обладают высокой стоимостью, а также требуют дополнительные вторичные цепи, возможен отказ на финансирование более новых технологий.

3.4. Планирование научно-исследовательских работ

3.4.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для того чтобы выполнить данное научное исследование, необходимо сформировать рабочую группу, в которой будет состоять руководитель темы (проекта) и инженер (студент – бакалавр). После формирования группы, перейдем к составлению перечня этапов и работ в рамках проведения научного исследования, а также произведем распределение исполнителей по видам работ. Полученные результаты представлены в таблице 12.

Таблица 12. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов, включая нормативные документы по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Руководитель темы
			Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель темы
			Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Анализ исходных данных	Инженер
	6	Ознакомление с программным комплексом АРМ СРЗА	
	7	Работа с принципиальной схемой подстанции «Восточная» Томской ЭЭС	
	8	Предварительный выбор защит РЗ для АТ	

	9	Расчет параметров РЗ для АТ	
	10	Планирование аварийных режимов для АТ	Руководитель темы
			Инженер
	11	Расчет уставок защит для АТ	Инженер
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель темы
Проведение ОКР			
Контроль и координирование проекта	13	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Руководитель темы
Разработка технической документации и проектирование	14	Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	Руководитель темы
			Инженер
	15	Выбор и расчёт всех составляющих принципиальной схемы	Руководитель темы
			Инженер
	16	Технико-экономические расчеты	Инженер
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	17	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

3.4.2. Структура работ в рамках научного исследования

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости $t_{ожи}$ определяется по формуле:

$$t_{ожи} = \frac{3 \cdot t_{mini} + 2 \cdot t_{maxi}}{5},$$

где t_{mini} – минимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем, чел.-дн.; t_{maxi} – максимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем, чел.-дн.

На основании расчетов ожидаемой трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i},$$

Где $Ч_i$ – количество исполнителей, одновременно выполняющих поставленную задачу, чел.

По всем работам результаты расчета продолжительности в рабочих днях представлены в таблице 8.

3.4.3.Разработка графика проведения проектирования

Диаграмма Ганта представляет собой отрезки, размещенные на горизонтальной шкале времени. Отрезки – время затраченной исполнителем на определенный вид работ.

Для построения графика Ганта, следует, длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней перевести в календарные дни. Это можно сделать по формуле, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

$$T_{ki.рук} = T_{pi} \cdot k_{кап},$$

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кап},$$

где $k_{кап}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кап.рук} = \frac{T_{кап}}{T_{кап} - T_{вых} - T_{пр}},$$

$$k_{кап.инж} = \frac{T_{кап}}{T_{кап} - T_{вых} - T_{пр}},$$

где $T_{кап}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{пр}$ – общее количество праздничных дней в году.

Все полученные значения в календарных днях округляются до целого числа, а затем сводятся в таблицу 8.

Итого	Общее количество календарных дней для выполнения выпускной работы	169
	Общее количество календарных дней, в течении которых работал инженер (студент)	126
	Общее количество календарных дней, в течении которых работал руководитель	43

Таблица 14. Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожi}$, чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	4	0	6	0	5	0	5	0	8	0
Подбор и изучение материалов, включая нормативные документы по теме	0	4	0	6	0	5	0	5	0	8
Выбор направления исследований	2	2	3	3	2,4	2,4	2,4	2,4	4	4
Календарное планирование работ по теме	3	3	4	4	3,4	3,4	3,4	3,4	5	5
Анализ исходных данных	0	3	0	7	0	4,6	0	4,6	0	7
Ознакомление с программным комплексом АРМ СРЗА	0	7	0	10	0	8,2	0	8,2	0	12
Работа с принципиальной схемой подстанции «Восточная» Томской ЭЭС	0	5	0	8	0	6,2	0	6,2	0	10
Предварительный выбор защит РЗ для АТ	0	4	0	9	0	6	0	6	0	9
Расчет параметров РЗ для АТ	0	10	0	12	0	11	0	11	0	17
Планирование аварийных режимов для АТ	1	3	3	6	1,8	4,2	1,8	4,2	3	7
Расчет уставок защит для АТ	0	7	0	11	0	8,6	0	8,6	0	13
Оценка эффективности полученных результатов	3	0	5	0	3,8	0	3,8	0	6	0
Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	5	0	7	0	5,8	0	5,8	0	9	0
Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	2	4	4	6	2,8	4,8	2,8	4,8	4	8
Выбор и расчёт всех составляющих принципиальной схемы	2	5	3	8	2,4	6,2	2,4	6,2	4	9
Технико-экономические расчеты	0	6	0	9	0	7,2	0	7,2	0	11
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	0	2	0	6	0	3,6	0	3,6	0	6

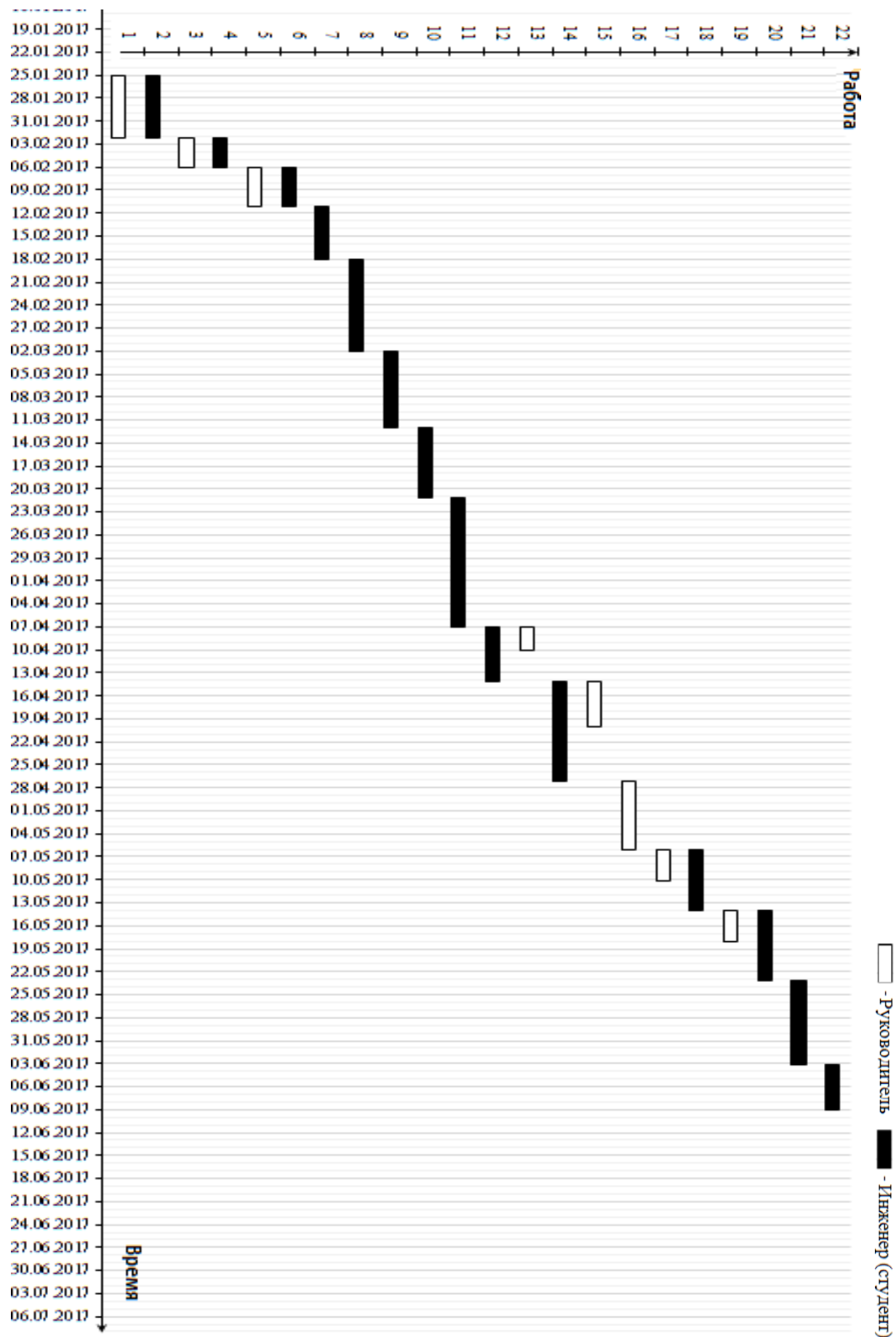


Рисунок 36 – график Ганта

3.5.Бюджет исследовательской работы

Чтобы сформировать бюджет на исследовательскую работу, необходимо полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. При формировании бюджета на исследовательскую работу, все спланированные затраты группируются по статьям, представленным в таблице 16.

3.5.1.Расчет амортизации

На основании данных приведенных в таблице 12, проводим расчет амортизации:

Таблица 12 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Ноутбук	1	10	70000	70000
2	Шкаф ШЭ2710	1	10	142000	142000
Итого:	212 тыс. руб.				

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A \cdot И}{12} \cdot t,$$

где $И$ – итоговая сумма, тыс. руб.; t – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию для асинхронного электродвигателя, с учётом, что срок полезного использования 10 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{10} = 0,1$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Ноутбук:

$$A = \frac{0,1 \cdot 70000}{12} \cdot 4 = 2333 \text{ руб.}$$

Шкаф ШЭ2710 :

$$A = \frac{0,1 \cdot 242000}{12} \cdot 4 = 8066 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 2333 + 8066 = 10400 \text{ руб.}$$

3.5.2. Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 13.

Таблица 13 – Сырье, материалы и комплектующие изделия

Наименование	Количество, шт.	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Сменный картридж	3 шт.	600	1800
Бумага для принтера А4 (500 листов)	1 шт	200	200
Карандаш чертежный	3 шт.	22	66
Ручка шариковая	5 шт	30	150
Автоматический выключатель	1 шт	1200	1200
Соединительные провода	10 шт	1000	10000
Итого:	13416 руб.		

3.5.3.Специальное оборудование для исследовательских (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по конкретной теме.

Таблица 14 – Специальное оборудование для экспериментальных работ

Наименование оборудования	Количество единиц	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
1. Программный комплекс АРМ СРЗА	1 шт.	9500	9500
2. Испытательный комплекс РЕТОМ - 51	1 шт	10000	10000
3. Лицензия на программное обеспечение Microsoft Office	1 шт.	500	500
Итого	20000		

3.5.4. Основная заработная плата

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (табл. 8).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

При отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{44850 \cdot 11,2}{265} = 1895,5 \text{ руб.}$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн. (табл.15); M – количество месяцев работы без отпуска в течение года.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{33150 \cdot 11,2}{289} = 1284 \text{ руб.}$$

Должностной оклад работника за месяц:

Для руководителя:

$$Z_m = Z_m \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p = 23000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 44850 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_m = Z_m \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}$$

где Z_m – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_d – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 15 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	52/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48/10	24/5
Действительный годовой фонд рабочего времени	265	289

Таблица 16 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители	$Z_{мс}, руб$	$k_{пр}$	k_d	k_p	$Z_m, руб$	$Z_{дн}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	23000	0,3	0,2	1,3	44850	1895,5	42	79611
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1284	61	71324
Итого:								150935

3.5.5.Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 79611 = 11941 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 71324 = 10698 \text{ руб.}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

3.5.6.Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (79611 + 11941) = 27092 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (71324 + 10698) = 24606 \text{ руб.}$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

3.5.6.Накладные расходы

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

Накладные расходы в целом:

$$\begin{aligned} З_{накл} &= \left(\frac{\text{сумма статей}}{6} \right) \cdot k_{нр} = \\ &= (10400 + 13416 + 20000 + 150935 + 22639 + 51698) \cdot 0.2 = \\ &= 53817 \text{ руб} \end{aligned}$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

Таблица 17 – Группировка затрат по статьям

Статьи								
Амортизац ия	Сырье, материа лы	Специальн ое оборудова ние	Основна я заработн ая плата	Дополнитель ная заработная плата	Отчислен ия на социальн ые нужды	Итого без накладн ых расходо в	Накладн ые расходы	Итого бюджетн ая стоимост ь

10400	13416	20000	150935	22639	51698	269088	53817	322905
-------	-------	-------	--------	-------	-------	--------	-------	--------

3.6. Определение ресурсоэффективности исследования

3.6.1. Интегральный показатель финансовой эффективности исследовательской работы получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве вариантов исполнения были выбраны ближайшие аналоги:

1. RET 541;
2. MiCOM Alstom P63;

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения исследовательской работы (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{322905}{340000} = 0,95$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{335000}{340000} = 0,99$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{310000}{340000} = 0,91$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

3.6.2. Интегральный показатель ресурсоэффективности

Определение ресурсоэффективности происходит на основе интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент проекта;

b_i – бальная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расставляем бальные оценки и весовые коэффициенты в соответствии с приоритетом характеристик проекта, рассчитываем конечный интегральный показатель и сводим полученные результаты в таблицу 18.

Таблица 18 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки	Бальная оценка RET 541	Бальная оценка MiCOM Alstom P63
1. Безопасность при использовании	0,1	4	5	5
2. Стабильность работы	0,1	3	4	2

3. Технические характеристики	0,3	4	3	4
4. Ремонтопригодность	0,2	4	3	3
5. Простота эксплуатации	0,3	5	4	4
Итого:	1	4,2	3,8	3,7

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,3 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 5 = 4,2$$

$$I_{p2} = 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 4 = 3,8$$

$$I_{p3} = 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 2 + 0,3 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,3 \cdot 4 = 3,7$$

3.6.3. Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп1}} = \frac{I_{\text{р-исп.1}}}{I_{\text{исп.1}}^{\text{финр}}} = \frac{4,2}{0,95} = 4,42$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных (табл. 19). Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп2}}}{I_{\text{исп1}}} = \frac{4,18}{4,47} = 0,89$$

Таблица 19 – Сводная таблица показателей оценки ресурсоэффективности

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,95	0,99	0,91
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,2	3,8	3,7
3	Интегральный показатель эффективности	4,42	3,83	4,06
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,87	0,92

Выводы по разделу:

В данном разделе было произведено планирование научно-исследовательских работ и проверена конкурентоспособность шкафа ШЭ2710

В ходе работы была сформирована группа и сформулированы этапы выполнения последовательных работ, построена диаграмма Ганта, в которой указаны максимальные по длительности работы каждого из участников. Затем был произведен расчета бюджета научно-технических исследований. В итоге для проведения научного исследования необходимо 435 000 руб.

4.Социальная ответственность

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5A5A1	Кодиралиев Фахриддин Комилжон угли

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Проектирование релейной защиты автотрансформатора 500/220/10 кВ подстанции «Томская» Томской энергосистемы	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Релейная защита предназначена для защиты трансформатора от возможных последствий аварийных или ненормальных режимов работы.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организованные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны)	- ГОСТ 12.0.003-2015 - СанПиН 2.2.4.548–96 - СП 52.13330.2016 - ГОСТ 12. 1.012-90 - СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 - ГОСТ 12. 1.003-2014 ССБТ - ГОСТ 12. 1.019-2017 ССБТ
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов. 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия.	- Уровень вибрации - Уровень шума - Недостаточная освещенность рабочей зоны - Электрический ток - Отклонение показателей микроклимата
3. Экологическая безопасность:	- Выбросы химических веществ в атмосферу, гидросферу и литосферу
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Пожар, Взрыв
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова О.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5A5A1	Кодиралиев Фахриддин Комилжон угли		

Введение

В данном разделе рассматриваются вредные и опасные факторы, которые влияют на человека и окружающую среду в процессе проектирования, производства и эксплуатации релейной защиты автотрансформатора 500/220/10 кВ ПС Томская Томской энергосистемы. Так же рассматриваются мероприятия по предотвращению и устранению несчастных случаев и чрезвычайных ситуаций, способы снижения вредных воздействий на окружающую среду и человека.

Инженерные разработки должны учитывать требования законодательных и правовых актов, технических регламентов в области безопасности производства, охраны труда и защиты окружающей среды.

В данной работе представлена релейная защита автотрансформатора 500/220/10 кВ ПС Томская Томской. Данная релейная защита автотрансформатора 500/220/10 кВ ПС Томская Томской служит для защиты трансформатора от возможных последствий аварийных или ненормальных режимов работы. В данной работе использована защита на микропроцессорной технике, ввиду ее более высокой чувствительности, надежности, устойчивости, удобства настройки. Также одним из плюсов этой защиты является её предавать информацию от защиты на географически удаленные уровни управления. Еще одним из критериев выбора микропроцессорной защиты было ее преобладание в будущем и удобство в использовании для будущей цифровой сети России.

При проектировании, изготовлении и эксплуатации релейной защиты автотрансформатора 500/220/10 кВ ПС Томская Томской энергосистемы возможно столкновение со множеством опасных работ, с риском получения вреда здоровью человека. Рассмотрим подробнее возможные опасности.

4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

4.1.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя)

правовые нормы трудового законодательства

Для того, чтобы осуществить практическую деятельность в области обеспечения безопасности жизнедеятельности необходимо соблюдение нормативов и правил ведения соответствующих работ, которые позволяют их обеспечить. В связи с тем, что проектирование релейной защиты автотрансформатора 500/220/10 кВ ПС Томская Томской производится при помощи ЭВМ, необходимо рассмотреть требования к рабочей зоне оператора и самой ЭВМ.

В соответствии с Трудовым Кодексом Российской Федерации работодатель обязан обеспечить нормальные условия для выполнения работниками норм выработки. К таким условиям, в частности, относятся:

- исправное состояние помещений, сооружений, машин, технологической оснастки и оборудования;
- своевременное обеспечение технической и иной необходимой для работы документацией;
- надлежащее качество материалов, инструментов, иных средств и предметов, необходимых для выполнения работы, их своевременное предоставление работнику;
- условия труда, соответствующие требованиям охраны труда и безопасности производства.

В соответствии со статьей «Статья 14 № 426-ФЗ» условия труда при проектировании релейной защиты автотрансформатора 500/220/10 кВ ПС Томская Томской по классификации класса условий труда - оптимальные. Воздействие неблагоприятных факторов отсутствует и влияния на организм не происходит.

4.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Помещение, в котором осуществлялось проектирование и исследование релейной защиты автотрансформатора 500/220/10 кВ ПС Томская Томской. Должно соответствовать всем гигиеническим требованиям и требованиям по безопасности.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.2.4.1340-03 [1] «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» (с изменениями на 21 июня 2016 года) предъявляются нормы к организации рабочей зоны при проектировании релейной защиты автотрансформатора 500/220/10 кВ ПС Томская Томской, а именно:

- требования к ПЭВМ;
- требования к помещениям для работы с ПЭВМ;
- требования к микроклимату, содержанию аэроионов и вредных химических веществ в воздухе на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ;
- требования к уровням шума и вибрации на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ;
- требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ;
- требования к уровням электромагнитных полей на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ;
- требования к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ для обучающихся в общеобразовательных учреждениях и учреждениях начального и высшего профессионального образования.

Для осуществления работы оператора рабочая зона с ПЭВМ организуется в соответствии СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.[1] При анализе помещения для проектирования выявлено:

- помещение с ПЭВМ оборудовано системой отопления;

- пол в помещении с ПЭВМ ровный, без выбоин, нескользкий;
- ширина стола на котором располагается ПЭВМ 750 мм, а глубина – больше 550 мм;
- угол сиденья в помещении не регулируется, угол наклона спинки в вертикальной плоскости составляет около 30 градусов;
- провода электропитания и кабель локальной сети находятся в стояке, основание которого совмещено с подставкой для ног;

Таким образом полученные результаты можно считать подходящими для проведения работ оператором в рассматриваемой аудитории с целью проектирования релейной защиты автотрансформатора 500/220/10 кВ ПС Томская Томской.

4.2. Производственная безопасность

В данном пункте осуществлен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при разработке, изготовлении или эксплуатации проектируемой релейной защиты автотрансформатора 500/220/10 кВ ПС Томская Томской. Они могут возникнуть в процессе проведения исследований в лаборатории, при разработке или эксплуатации проектируемого оборудования.

Чтобы оценить возникновение вредных и опасных факторов, необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 [2] «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды необходимо представить в виде таблицы.

Таблица 4.2.1. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Повышенный уровень вибрации		+	+	ГОСТ 12.1.012 – 90 ССБТ. Вибрационная болезнь.
2.Превышение уровня шума		+	+	Общие требования.[3]
3.Неправильная освещенность рабочей зоны	+	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014. «Шум. Общие требования безопасности.»[4]
4.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.[5] ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность.
5. Отклонение показателей микроклимата		+		Общие требования и номенклатура видов защиты.[6] СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. [7]

1.Повышенный уровень вибрации

а) При изготовлении

При изготовлении деталей конструкции, возникает вибрация, которая появляется в процессе работы производственного оборудования, такого как: токарный, фрезерный, шлифовальный станки и станок с ЧПУ.

При достаточно долгом действии общей вибрации возникают механические повреждения тканей, а также органов человеческого организма.

В соответствии с ГОСТ 12.1.012-90 [3], амплитуда вибрации в помещении должна составлять не более $0,0072 \cdot 10^{-3}$ м при частотах от 31,5 Гц до 63 Гц. На производстве станки работают в диапазонах близких к 60 Гц. Соответственно, не возникает пагубного влияния на организм человека.

Для того, чтобы снизить уровень вибрации до требуемого уровня используются методы защиты оператора от вибрации. Существуют следующие методы, такие как: правильное размещение специального оборудования устройства и оптимальные режимы работы установки.

б) При эксплуатации

Вибрации исходящие со стороны механизмов, машин или оборудования также оказывает негативное влияние на человека, находящегося в зоне распространения вибрации.

В качестве средств индивидуальной защиты от вибрации для рук и ног используются защитные перчатки, рукавицы, прокладки, вкладыши, защитная обувь, стельки и подметки. В случае если необходимо снизить вибрацию возникающую от оборудования можно установить под оборудование демпфирующие устройства.

2. Повышенный уровень шума

Во время эксплуатации оборудование является источником шума. При изготовлении деталей для релейной защиты автотрансформатора 500/220/10 кВ

ПС Томская Томской необходимо предусмотреть, чтобы уровень шума на рабочем месте не превышал допустимого уровня. Все это необходимо для того, чтобы предотвратить вредное влияние шума на организм человека. Повышенный уровень шума приводит к быстрой утомляемости человека и является общебиологическим раздражителем. В последствии продолжительного влияния шума падает производительность физического труда на 10%, а умственного – более чем на 40%.

По ГОСТ 23337 – 2014 [4] максимально допустимый уровень шума на рабочем месте не должен превышать 80 дБ (широкополосный шум). Общий уровень шума измеряется в пределах 65 дБ. Данный показатель уровня шума соответствует допустимому.

В соответствии с ГОСТ 23337 – 2014 [4] при разработке технологических процессов, проектировании, изготовлении и эксплуатации машин, производственных зданий и сооружений, а также при организации рабочих мест необходимо обеспечить меры по снижению уровня шума, воздействующего на человека, до требуемого уровня, не превышающего допустимого.

Существуют следующие методы и средства коллективной защиты, которые подразделяются в зависимости от способа реализации на строительно-акустические, архитектурно-планировочные и организационно-технические и включают в себя:

- изменение направленности излучения шума;
- рациональную планировку предприятий и производственных помещений;
- применение звукоизоляции;

3. Неправильная освещенность рабочей зоны

В соответствии с СП 52.13330.2016 [5] неправильная освещенность рабочей зоны относится к вредным производственным факторам, который быстро

утомляет человека и снижает его работоспособность. Утомляемость человека может возникать из-за чрезмерной или недостаточной освещенности, а также из-за неправильного направления света.

В дневное время достигается нормальная освещенность за счет естественного света, который проникает через окна, а в утреннее и вечернее время нормальная освещенность достигается за счет искусственного освещения – лампами.

При недостатке естественного освещения используют совмещенное освещение. Последнее представляет собой освещение, при котором в светлое время суток одновременно светят естественное и искусственное освещение. В данном производственном помещении используется совмещенное освещение: естественное боковое одностороннее дополняется искусственным общим освещением, т.к. в структуре реле есть мелкие детали (таблица 2.1.1).

Таблица 2.1.1 - Параметры систем естественного и искусственного освещения на рабочих местах

Наименование рабочего места	Тип светильника и источника света	Коэффициент естественной освещенности, КЕО, %	Освещенность при совмещенной системе, лк
		Норм. значение	Норм. значение
1	2	3	4
Производственное помещение	Люминесцентные лампы	0,5	200

Для того, чтобы уберечь рабочего от вредного влияния недостаточного освещения необходимо обеспечить освещение рабочей зоны при помощи установки дополнительных светильников.

4. Опасность получения удара электрическим током

При работе с трансформатором возможно получение удара электрическим током, поскольку в трансформатор находится под высоким напряжением.

В соответствии с ГОСТ 12.1.019-2017 [6], опасное и вредное воздействия на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляются в виде электротравм и заболеваний, включая профессиональные и производственно-обусловленные заболевания.

При длительном воздействии допустимый безопасный ток принят в 1 мА (таблица 2.1.4).

Таблица 2.1.4 - Длительность протекания тока через тело человека

Длительность воздействия, с	30	30	1	0,7	0,5	0,2
Допустимый безопасный ток, мА	1	6	50	70	100	250

Для того, чтобы исключить возникновения поражения персонала электрическим током необходимо использовать защитные рукавицы, фартуки, ток изолирующую одежду. Также необходимо обеспечить заземление токоведущих проводов.

5. Отклонение показателей микроклимата

В соответствии с СанПиН 2.2.4.548–96 [7], Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса машиниста с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма. Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха на рабочем месте машиниста должны соответствовать для категорий работ средней тяжести Па и Пб значениям, указанным в табл.2.1.5. СанПиН 2.2.4.548–96 [7] - пункт 1.2.3.

Таблица 5.1.1 - Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	IIa (175-232)	19-21	18-22	60-40	0,2
	IIб (233-290)	17-19	16-20	60-40	0,2
Теплый	IIa (175-232)	20-22	19-23	60-40	0,2
	IIб (233-290)	19-21	18-22	60-40	0,2

Чтобы обезопасить организм человека, от вредного влияния микроклимата необходимо установить специальные отопительные приборы в зимнее время, в случае если работы ведутся в летнее время, то необходимо установить кондиционеры или вентиляторы в рабочем помещении.

4.3. Экологическая безопасность

В нашем мире защита окружающей среды является одной из приоритетных задач. Огромное количество бытовых отходов, а также выбросов предприятий на данный момент составляет значительный объем. Следовательно, чтобы уменьшить количество бытовых отходов и выбросов предприятий необходимо отказаться от старых методов производства и перейти на безотходное производство.

В данной релейной защите для снижения уровня вибрации часть деталей сделана из цветного или черного металла. Данные материалы при очистке и переплавке приобретают свойства первичного сырья, в связи с этим они востребованы в промышленности.

В процессе работы разработанная релейная защита автотрансформатора 500/220/10 кВ ПС Томская Томской энергосистемы не воздействует на атмосферу. Но в процессе испарения смазывающей жидкости при эксплуатации или хранении происходит незначительное выделение синтетических масел. При этом когда

данное попадает в атмосферу, образуются токсичные соединения. Также при испарении в атмосферу попадают тяжелые металлы, распространяющиеся по воздуху и вступающие в химические реакции с различными элементами. Данный процесс создает угрозу живым организмам.

Чтобы защитить окружающую среду от разлива масла, а также от испарения смазывающей жидкости, необходимо устанавливать специальные герметические конструкции, позволяющие снизить распространение загрязнения. Следовательно, все химические процессы будут происходить внутри.

На литосферу релейная защита автотрансформатора 500/220/10 кВ ПС Томская Томской энергосистемы практически не оказывает воздействия, так как является вибрации от него минимальны. Однако если принять во внимание, что малая часть колебаний все-таки передается на литосферу, то со временем наиболее чувствительные к сотрясению рыхлые неуплотненные слои почвы начнут смещаться и уплотняться. При этом структурные связи почвы нарушаются и, вероятно, внезапное разжижение и образование оползней и отвалов.

Живые организмы в процессе воздействия релейной защиты автотрансформатора 500/220/10 кВ ПС Томская Томской энергосистемы так же получают негативное вибрационное и шумовое воздействие, что может заставлять животных покидать места привычного обитания на период эксплуатации источника колебаний. Но, после завершения эксплуатации источника колебаний в случае сохранения прежней экологической среды животные, возможно, вернуться в места обитания, сохраняя при этом равновесие природной зоны.

Чтобы существенно снизить негативное воздействие на окружающую среду необходимо максимально снизить время проводимых работ, амплитуду и частоту колебаний источника.

4.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В процессе проектирования, а также изготовления релейной защиты автотрансформатора 500/220/10 кВ ПС Томская Томской энергосистемы возможны следующие чрезвычайные ситуации: возникновение пожара, взрыв трансформатора. Возгорание релейной защиты автотрансформатора 500/220/10 кВ ПС Томская Томской энергосистемы практически невозможно, но возникновение пожара в помещении, в котором осуществлялось проектирование, вполне возможно в связи со следующими факторами: возникновение короткого замыкания в электропроводке из-за неисправности самой проводки или электросоединений и электрораспределительных щитов.

Возникающая при коротком замыкании в трансформаторе электрическая дуга испаряет масло, что приводит к скачку динамического давления распространяющемуся со скоростью 1200 метров в секунду (4000 футов в секунду). Развитие этого процесса происходит за тысячные доли секунды. Вследствие отражения давления внутри бака скачок давления формирует волны сверхдавления. Сочетание всех пиков волнового давления приводит к созданию статического давления. Затем, спустя 50-100 миллисекунд после образования электрической дуги, давление в объеме бака трансформатора выравнивается, что приводит к его разрыву.

Чтобы защитить жизнь и здоровье человека от пожара и взрыва необходимо выполнять необходимые профилактические мероприятия, направленные на предупреждение или устранение пожара и взрыва.

Для исключения возможности возникновения пожара и взрыва, рекомендуется проводить следующие организационные мероприятия:

- обязательное соблюдение всех правил технической эксплуатации релейной защиты;
- проверка наличия и исправности первичных средств пожаротушения;

- прохождение противопожарного инструктажа.

В случае возникновения пожароопасной и взрывоопасной ситуации, прежде всего, необходимо вызвать пожарную команду, обеспечить полную эвакуацию людей из помещения, где возник пожар или взрыв, и принять меры по ликвидации пожара при помощи первичных средств пожаротушения. В случае неисправности релейной защиты автотрансформатора 500/220/10 кВ ПС Томская Томской энергосистемы или аварии необходимо устранить неполадки самостоятельно, либо вызвать соответствующие службы.

Вывод по разделу

В результате выполнения анализа вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации релейной защиты автотрансформатора 500/220/10 кВ ПС Томская Томской энергосистемы, а также во время его проектирования, были выявлены характерные чрезвычайные ситуации, а также меры по их устранению. Данные исследования, проведенные в рассматриваемом разделе, могут быть использованы в реальных условиях проектирования, изготовления и релейной защиты автотрансформатора.

Заключение

В результате выполнения данной работы была спроектирована релейная защита автотрансформатора 500/220/10 подстанции «Томская» Томской энергосистемы. В данной работе была дана краткая характеристика защищаемого объекта, произведен анализ и выбор устанавливаемых защит.

В ходе проектирования было решено применять микропроцессорные терминалы производства ООО НПП «ЭКРА», так как они хорошо проявили себя на Российском рынке и показали достойную конкуренцию терминалам производства других компаний. Для защиты автотрансформатора использовались шкафы типа ШЭ2710 572 и ШЭ2710 542-543, которые предназначены для защиты автотрансформаторов напряжением 330-750 кВ.

В заключении можно отметить, что автотрансформатор, имеющий данные виды релейной защиты, удовлетворяет всем требованиям эксплуатации и надежности, единственное, на что стоит обратить внимание, это 3-я ступень ТНЗНП, т.к. при такой высокой чувствительности защита может сработать ложно. Рекомендуется убрать данную ступень защиты, и заменить ее другой защитой, либо провести более точную настройку с дополнительной блокировкой по напряжению.

Также приведем таблицу всех уставок и чувствительностей по двум последним защитам:

Таблица 2.7 – Данные по МТЗ с пуском по напряжению и ТНЗНП.

МТЗ с блокировкой по напряжению				
Сторона/Степень защиты		Уставка, А		Чувствительность
СН/1 степень		3120		2.9
СН/2 степень		1624		5.6
СН/3 степень		50		9.7
ВН/1 степень		2531		1.6
ВН/2 степень		1918		2.11
ВН/3 степень		33		27.1
ТНЗНП				
Напряжение			Ток	
Сторона	Уставка, кВ	Чувствительность	Уставка, А	Чувствительность
ВН	31.5	2.18	708	1.6
СН	13.8	4.75	1585.4	1.69
НН	0.66	4.7	8287.3	3.7

Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок. ПУЭ. Издание седьмое. Утверждены Приказом Минэнерго России от 08.07.2002 № 204. Электрон. текстовые дан. URL: <https://profsector.com/media/catalogs/PUE7.pdf>. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 11.04.2019 г
2. Руководство по эксплуатации ЭКРА.656453.038 РЭ
3. Сайт компания ООО «ЭТК “Оникс”»; Каталог ТТ и их технические характеристики.
URL: <http://www.etk-oniks.ru/Klass-napryazheniya-TT-110kV-i-vyshe/TGF-500.html>
4. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 608 с.: ил.
5. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 13Б. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110-500 кВ: Расчеты. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 96 с., ил.
6. СТО 56947007-29.120.70.99-2011 Методические указания по выбору параметров срабатывания устройств РЗА подстанционного оборудования производства ООО НПП «ЭКРА». Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС».
7. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей: Монография./М.А. Шабад. – Спб.: ПЭИПК, 2003. –4-е изд., перераб. и доп. – 350 стр., ил.
8. В.Н. Копьев. «Релейная защита. Принципы выполнения и применения: учебное пособие». – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 153 с.
9. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. – М.: Энергоатомиздат, 2007. 549с., ил.

